Rivelatori di Onde Gravitazionali Risonanti a Barre ed effetto raggi cosmici

J. Weber 1969

Sommario:

Onde Gravitazionali : origine propagazione e sorgenti

Rivelatori interferometrici e a barre

Effetto particelle ionizzanti su barre e misure sperimentali

Raggi cosmici possibile rumore per la ricerca delle Onde Gravitazionale

Raggi cosmici e calcolo frequenza eventi rivelabili

Primo calcolo E. Amaldi G. Pizzella Nuovo Cimento 9C 1986

Raggi cosmici in NAUTILUS ed EXPLORER

Frequenza degli eventi od energia maggiore dell'atteso- Nautilus prima rivelazione Ph.Rev.Lett. 84 Jan 2000

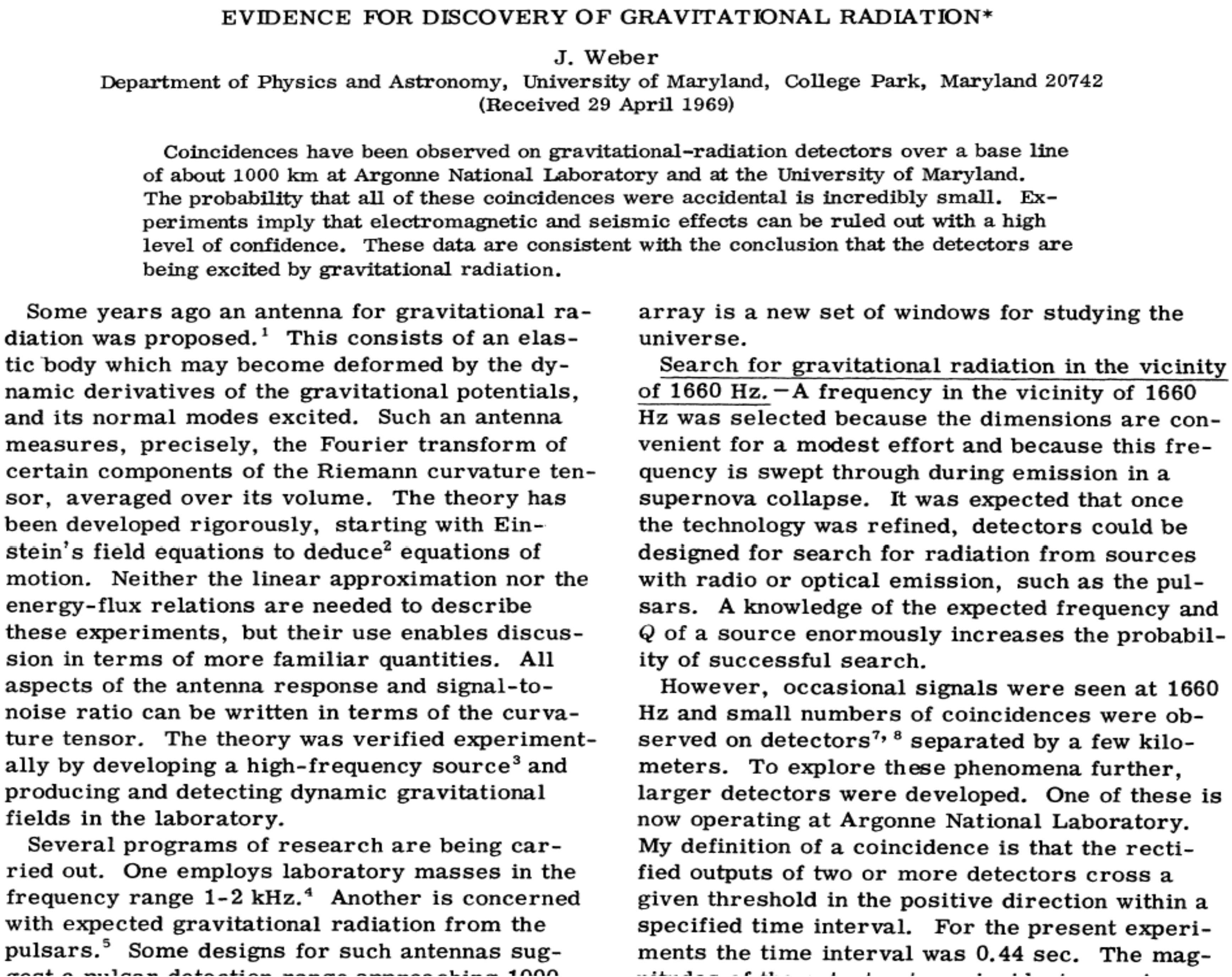
Inizio della ricerca delle Onde Gravitazionali I

- Weber : iniziatore dell'elettronica quantistica, negli anni 1960 dopo un soggiorno di Weber a Princeton, inizia ad occuparsi di Onde Gravitazionali.

- Personalità **molto complessa**, geniale inventore, ancora oggi si continua sulla scia di alcune intuizioni di Weber

- Weber ebbe l'idea di usare **cilindri di alluminio "risonanti"** per la rivelazione di Onde Gravitazionali. Le vibrazioni erano rivelate con cristalli piezoelettrici al centro della barra.

- Nel 1969 pubblica risultati in favore della **rivelazione** di Onde Gravitazionali, i segnali erano molto piu` grandi dell'atteso



EVIDENCE FOR DISCOVERY OF GRAVITATIONAL RADIATION*

J. Weber
Department of Physics and Astronomy, University of Maryland, College Park, Maryland 20742

(Received 29 April 1969)

Coincidences have been observed on gravitational-radiation detectors over a base line of about 1000 km at Argonne National Laboratory and at the University of Maryland. The probability that all of these coincidences were accidental is incredibly small. Experiments imply that electromagnetic and seismic effects can be ruled out with a high level of confidence. These data are consistent with the conclusion that the detectors are being excited by gravitational radiation.

Some years ago an antenna for gravitational radiation was proposed.[1] This consists of an elastic body which may become deformed by the dynamic derivatives of the gravitational potentials, and its normal modes excited. Such an antenna measures, precisely, the Fourier transform of certain components of the Riemann curvature tensor, averaged over its volume. The theory has been developed rigorously, starting with Einstein's field equations to deduce[2] equations of motion. Neither the linear approximation nor the energy-flux relations are needed to describe these experiments, but their use enables discussion in terms of more familiar quantities. All aspects of the antenna response and signal-to-noise ratio can be written in terms of the curvature tensor. The theory was verified experimentally by developing a high-frequency source[3] and producing and detecting dynamic gravitational fields in the laboratory.

Several programs of research are being carried out. One employs laboratory masses in the frequency range 1-2 kHz.[4] Another is concerned with expected gravitational radiation from the pulsars.[5] Some designs for such antennas sug-

array is a new set of windows for studying the universe.

Search for gravitational radiation in the vicinity of 1660 Hz.—A frequency in the vicinity of 1660 Hz was selected because the dimensions are convenient for a modest effort and because this frequency is swept through during emission in a supernova collapse. It was expected that once the technology was refined, detectors could be designed for search for radiation from sources with radio or optical emission, such as the pulsars. A knowledge of the expected frequency and Q of a source enormously increases the probability of successful search.

However, occasional signals were seen at 1660 Hz and small numbers of coincidences were observed on detectors[7, 8] separated by a few kilometers. To explore these phenomena further, larger detectors were developed. One of these is now operating at Argonne National Laboratory. My definition of a coincidence is that the rectified outputs of two or more detectors cross a given threshold in the positive direction within a specified time interval. For the present experiments the time interval was 0.44 sec. The mag-

Inizio della ricerca delle Onde Gravitazionali II

- **Enorme risonanza**; numerosi gruppi costruiscono rivelatori simili, ma nessuno conferma i risultati originali
- Weber cerca di difendere i propri risultati (ad esempio con meccanismi per esaltare la sezione d'urto)
- **perdita di credibilità** presso la comunità scientifica
- figura "romantica" ha ispirato uno **studio monumentale** (in stampa) di 850 pagine sulla storia della ricerca in Onde Gravitazionale e sulle implicazioni sociologiche.

Da Physics Today Luglio 2001

Joseph Weber, professor emeritus of physics at the University of Maryland, College Park, died on 30 September 2000 in Pittsburgh, Pennsylvania, while undergoing treatment for non-Hodgkins lymphoma.

Born on 17 May 1919 in Paterson, New Jersey, Weber was awarded an appointment to the US Naval Academy as a result of a competitive examination. He received a BS degree in 1940 from the academy. That same year, he was commissioned as an ensign and was posted to the aircraft carrier *Lexington*, which narrowly escaped disaster by steaming out of Pearl Harbor on 5 December 1941. Weber survived the sinking of the ship during the Battle of the Coral Sea on 8 May 1942. He then commanded the submarine chaser *SC 690*, which helped protect convoys crossing the Atlantic Ocean, and participated in the landings on Sicily in July 1943.

After World War II ended, Weber became head of the electronic design section of the Navy's Bureau of Ships. Because of his experience as a radio amateur and his involvement with radar, Weber was assigned responsibility for electronic countermeasures. In 1948, he resigned his commission as a lieutenant commander and joined the University of Maryland as a full professor of electrical engineering. That year, he also entered graduate school at the Catholic University of America. He received his PhD in physics in 1951 for research carried out with Keith J. Laidler on the microwave inversion spectrum of ammonia.

At about the same time, Weber realized that the Einstein *A* and *B* coefficients can be exploited to produce amplifiers of electromagnetic radiation of the sort that are now called masers and lasers. He presented his ideas in a talk at the June 1952 conference of the Institute of Radio Engineers in Ottawa, Canada, and published the first open-literature paper on what is now called quantum electronics. His efforts were acknowledged by the IRE when they awarded him a fellowship (in 1958) "for his early recognition of concepts leading to the maser." The development of operating maser and laser devices was achieved by Charles Townes, Nikolai Basov, Aleksandre Prokhorov, Theodore Maiman, and Arthur Schawlow.

Weber spent the 1955-56 academic year as a fellow of the Institute for Advanced Study in Princeton, New Jersey, where he immersed himself in general relativity. In 1961, he joined the physics department at the University of Maryland as a full professor.
During the early 1960s, Weber turned his attention to testing the general relativistic prediction of gravitational waves from collisions or collapses involving strong gravity. In typical fashion, he first studied the field, published a beautiful and concise monograph on gravitational waves in 1961 (Interscience Publishers), and then set about developing a detector that might be able to measure displacements smaller than the size of the nucleus in a macroscopic-sized object. He was alone in charting these unknown waters: His first paper on how to build a gravity wave detector was published in 1959 and the second, in 1960. Weber developed an experiment using a large suspended bar of aluminum, with a high resonant *Q* at a frequency of about 1 kH; the oscillation of the bar after it had been excited could be measured by a series of piezoelectric crystals mounted on it. The output of the system was put on a chart recorder like those used to record earthquakes.

Da Physics Today Luglio 2001

The signals seemed to show the presence of gravitational waves. He published his results in *Physical Review Letters* (1969), claiming evidence for observation of gravitational waves in 1969 based on coincident signals from two bars separated by 1000 km. These and subsequent observations by Weber were greeted with great excitement in the early 1970s; however, the strength implied by his signals was very much in excess of what was expected. In the following years, various experimenters built more sensitive bars, including low-temperature bars, and looked for signals, but it was difficult to see gravitational signals without ambiguity. Even so, the Weber gravitational detector stands as an important milestone in the development of gravitational wave astronomy.

When Weber first reported the possible observation of gravitational signals by his bar detectors, Sandy Wall and one of us (Yodh) immediately suggested to him that we should determine whether energetic cosmic-ray showers could produce observable pulses in his bars. We carried out (in 1970) a coincidence experiment with a cosmic-ray telescope consisting of scintillation counters above and below Weber's room-temperature detector. We showed that the observed coincidences with cosmic-ray events were consistent with being accidentals, thus eliminating cosmic-ray showers as being necessarily a source of the signals. Nearly three decades later, the Rome (Italy) group again studied the problem using the sensitive NAUTILUS detector, a 2300-kg bar at 100 mK. The group reported observing events that may be attributed to cosmic-ray showers in the bar. Weber continued doing coincidence experiments with several bar detectors, some at the University of Maryland and another at Argonne National Laboratory in the 1970s, and later with bar detectors built by the Rome group. Experiments to observe coincident events are currently being carried out by the International Gravitational Event Collaboration, which consists of low-temperature bars in Australia, the US, and Europe. None have yet been observed, and new upper limits for amplitude and rate of gravitational wave bursts have been set.

Weber also proposed the idea of doing an experiment to detect gravitational waves using laser interferometric techniques. Robert Forward, Weber's student and postdoctoral associate, did the first laser interferometric gravitational wave experiments while at Hughes Research Laboratories in Malibu, California.

Harry Collins's Gravitational Wave Project

http://www.cf.ac.uk/socsi/gravwave/

Presentation of work on this website does not imply endorsement by LIGO or any other gravitational wave project
(Please send comments to CollinsHM@Cardiff.ac.uk)

Please note that all items within this site are copyright to Harry Collins

NEW ITEMS JUNE 2003

Revised Table of Contents for
GRAVITY'S SHADOW
THE SEARCH FOR GRAVITATIONAL WAVES
The final manuscript is about to be sent to the publisher, University of Chicago Press, and should by published in autumn 2004 at a length of around 850 pages.

Tantalus and the Aliens

Publications, Audiences, and the Search for Gravitational Waves

H. M. Collins

Social Studies of Science
Volume 29 No.2 April 1999

Abstract

Different audiences at different distances from the core-set read scientific papers in different ways. If the institutional circumstances are right, an `inner audience' may try to control an outer audience's reading.

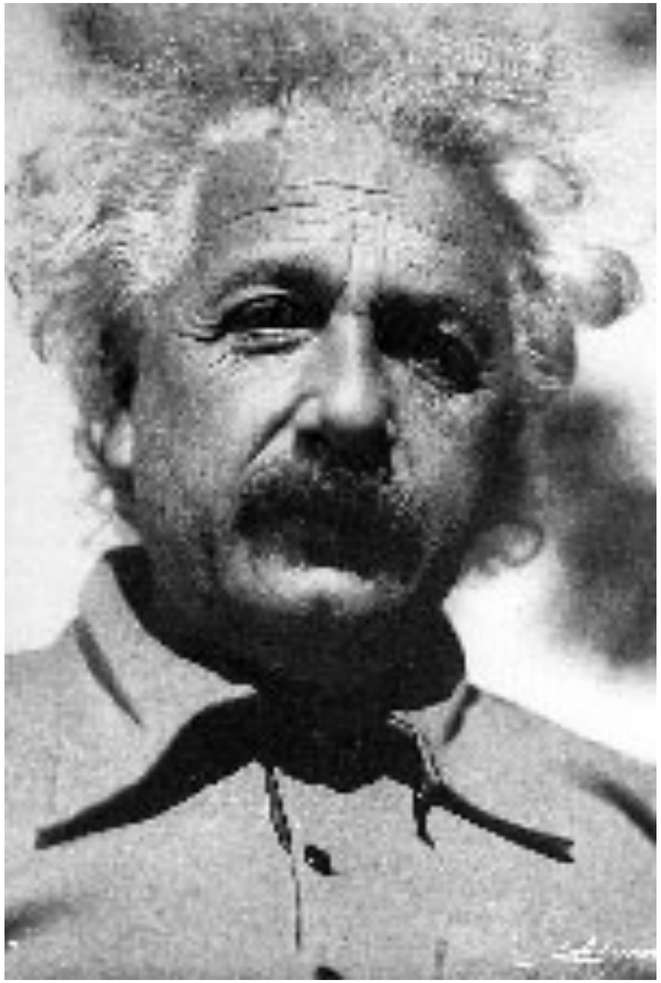
In physics the literature is sufficiently open to allow some papers that have no credibility with the mainstream to be published. This normally causes no problem within `core-groups' of scientists because the orthodox interpretation is widely understood. There can still be trouble, however, from those who have not been socialised into the core-group's interpretative framework. Strangers to the field may give credence to papers which the core-group considers to be interpretatively dead. The strangers to which I refer are not scientific antagonists but scientists in different specialisms to those in the core-group, as well as policy makers, and funders. A problem arises for the core-group when non-core-groupers are drawn into important decisions - as when a big science is fighting for funds.

The case of heterodox publications in gravitational radiation is examined. It is shown that papers published between 1985 and 1995, of which the core-group could normally be expected to think, `Ho hum - more of this', were strongly attacked. The institutional background of these attacks is explained.

Onde Gravitazionali

Nel caso di campi deboli la metrica sarà quasi galileiana con l'aggiunta di un piccolo termine

$$h_{ik} << 1$$



In assenza di materia e in una opportuna gauge (transverse traceless):

$$h_{23} = h_{32}$$

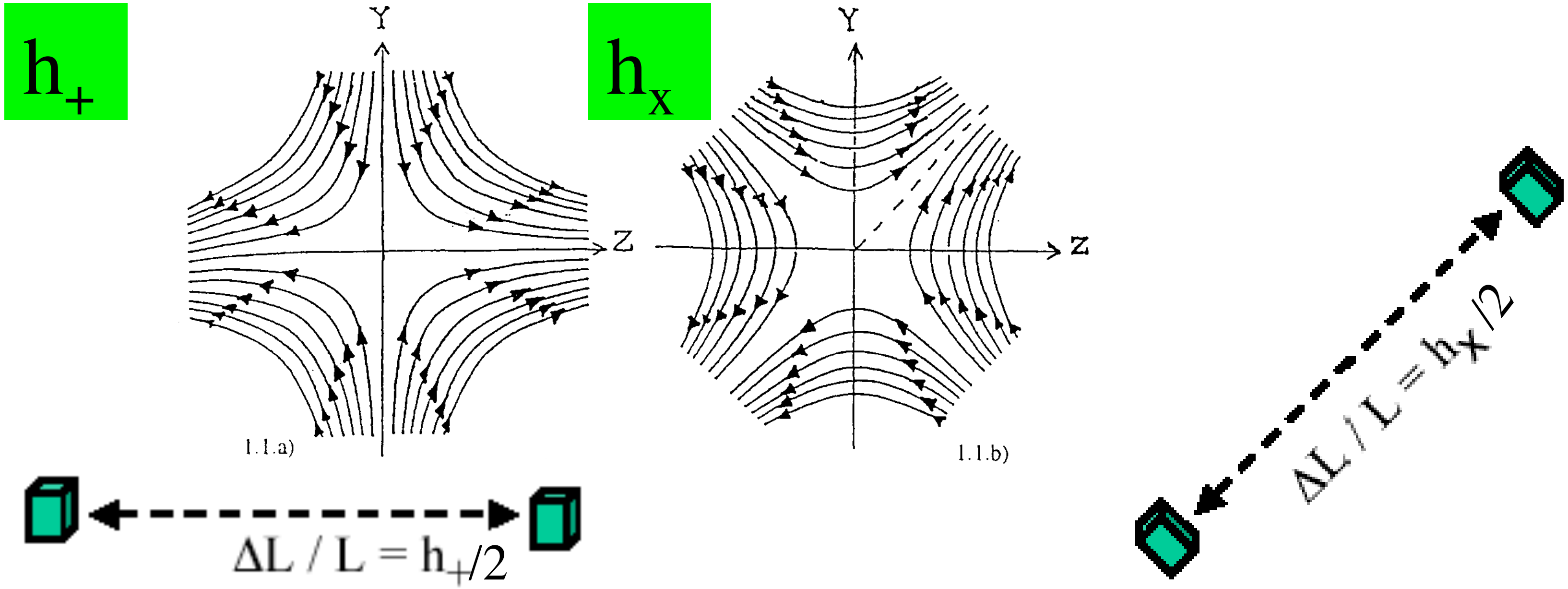
$$h_{22} = -h_{33}$$

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}\right)h_{ik} = 0$$

velocità c come per le onde elettromagnetiche

Caratteristiche delle Onde Gravitazionali

1) 2 componenti quadrupolari trasversali indipendenti osservabili da variazioni della lunghezza ortogonali all’asse di propagazione



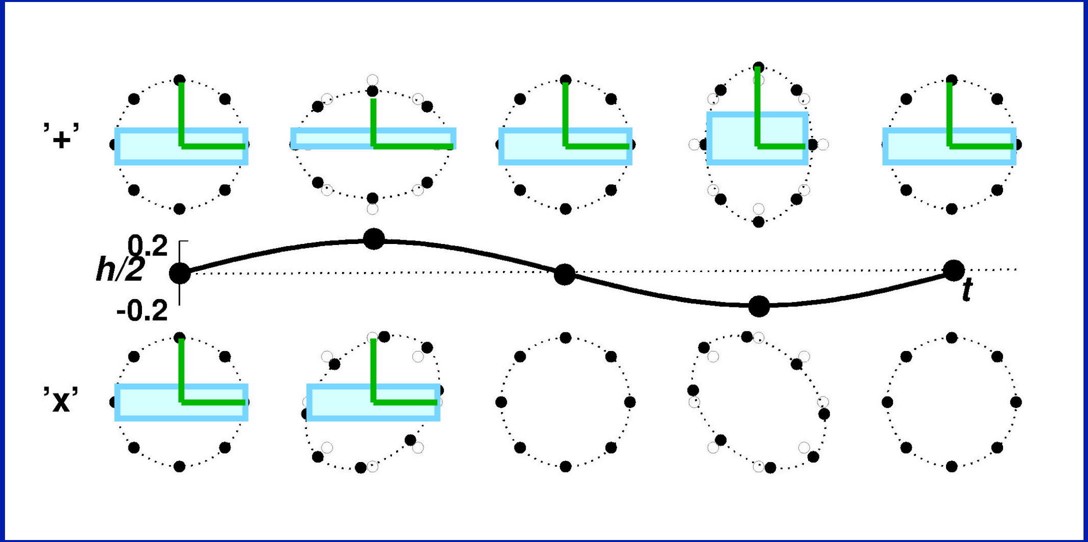
Osservabili da variazioni della lunghezza ortogonali all’asse di propagazione

2) Invarianza per rotazioni di 180° Onde elettromagnetiche 360°

3) Spin del gravitone =360/(angolo di invarianza) =2 fotone=1

Polarizzazione

- Le due polarizzazioni indipendenti sono mostrate nell’esempio seguente. (barra ed interferometro)



- Gli interferometri sono rivelatori polarizzati linearmente.
- La distorsione è collegato al moto della sorgente.
- La misura delle due componenti permette di determinare l’angolo dell’orbita in un sistema

F

Generazione delle Onde Gravitazionali

Necessarie grandi energie e grandi masse con simmetrie quadrupolari all’ordine piu’ basso

$$h_{ik} = \frac{2G}{3c^4 r}\frac{\partial^2}{\partial t^2} D_{ik} \qquad D_{ik} = \int \rho(3x_i x_k - \delta_{ik} r^2)\, dV$$

D tensore di momento quadripolare , ρ densità

Ordini di grandezza per oggetto di raggio R

$$\frac{\partial^2 D}{\partial t^2} \approx M v^2 \quad v^2 \approx \frac{GM}{R}$$

(teorema del viriale)

$$h\sim \frac{1}{c^4}\left(\frac{GM}{r}\right)\left(\frac{GM}{R}\right)$$

Potenziale Newtoniano alla sorgente di raggio R

Potenziale Newtoniano alla a distanza r

Numeri molto piccoli $h \sim 10^{-23}$ per un oggetto come il sole al centro della galassia

Per stella neutroni R=10 Km 10 Mparsec $h \sim 10^{-21}$

Flusso energia

$$F = \frac{c^3}{G}\ \frac{1}{16\pi}\left(h_+^2 + h_x^2\right)$$ molto elevato!

$$\frac{c^3}{G}\ \frac{1}{16\pi} = 8.1 \bullet 10^{33}$$

Flussi elevati ma sfortunatamente difficile assorbire questa energia

per h~10^{-21} stella neutroni a 10 Mparsec F ~ 0.2 watt/m^2

> Luce da Luna

Sensibilita' attuali h~ 10^{-18} rivelabili flussi > $2 \bullet 10^5$ watt/m^2

Molto maggiore del flusso dell'energia solare sulla terra

Sorgenti di Onde Gravitazionali frequenza di emissione

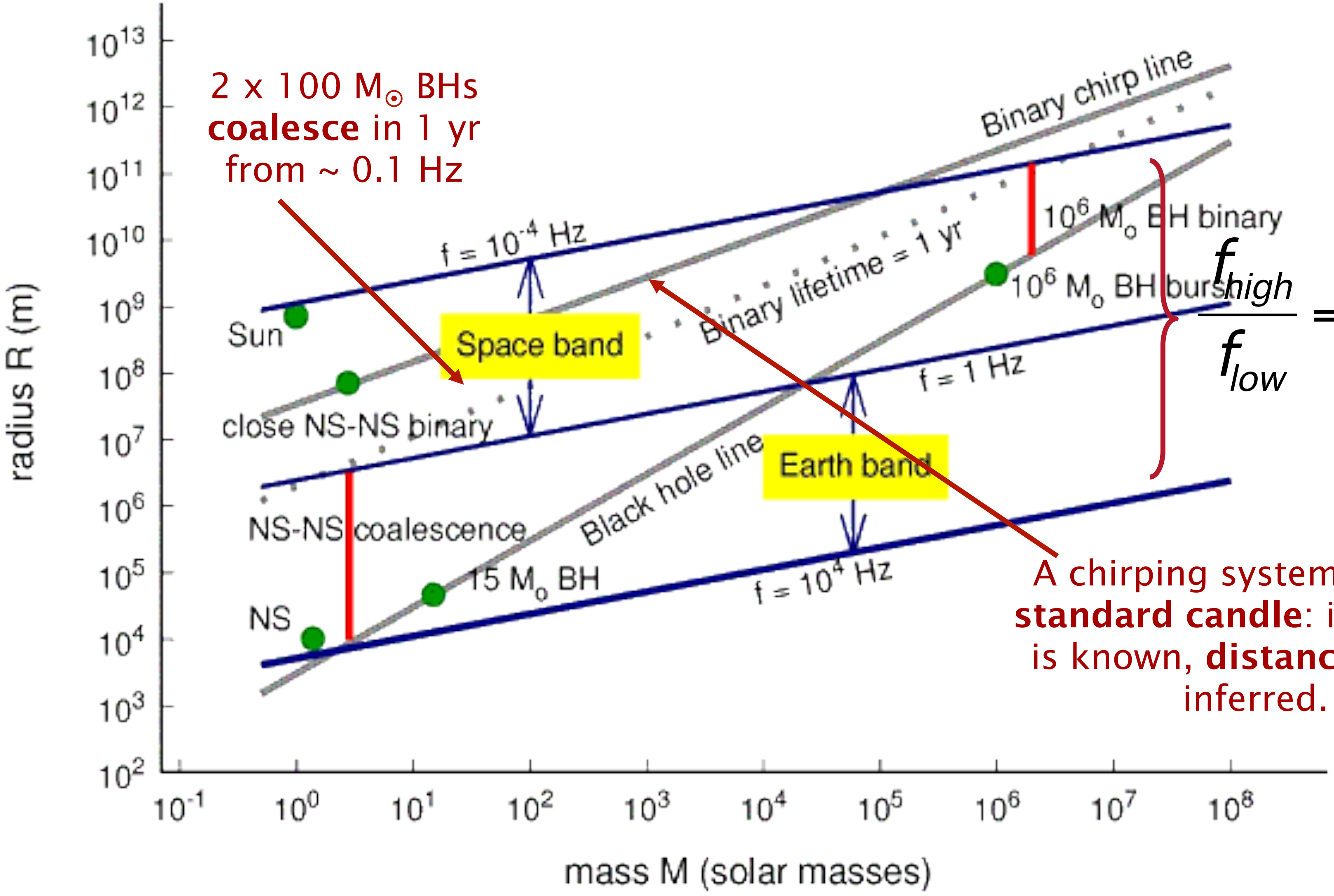
(onde continue)

Frequenza tipica $f \approx \dfrac{v}{2\pi R}$ v=velocità

$v^2 \approx \dfrac{GM}{R}$ teorema del viriale $\longrightarrow f = \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{\dfrac{GM}{R^3}}$ (max)

- **stella neutroni f ~ Khz**
- frequenze anche più alte per i buchi neri
- frequenze < 1 Hz per sistemi binari con stella neutroni + compagna come la **PSR1913+16** di cui fu osservato nel 1974 il cambiamento nella velocita' di rotazione dovuto all'emissione di Onde Gravitazionali **- premio Nobel Russel Taylor**
- frequenze di ~ decine di Hz nella fase finale di un sistema binario ('chirps')

Spettro di frequenze molto ampio



2 x 100 $M_\odot$ BHs **coalesce** in 1 yr from ~ 0.1 Hz

$$\frac{f_{high}}{f_{low}} = 10^8$$

A chirping system is a GW **standard candle**: if position is known, **distance** can be inferred.

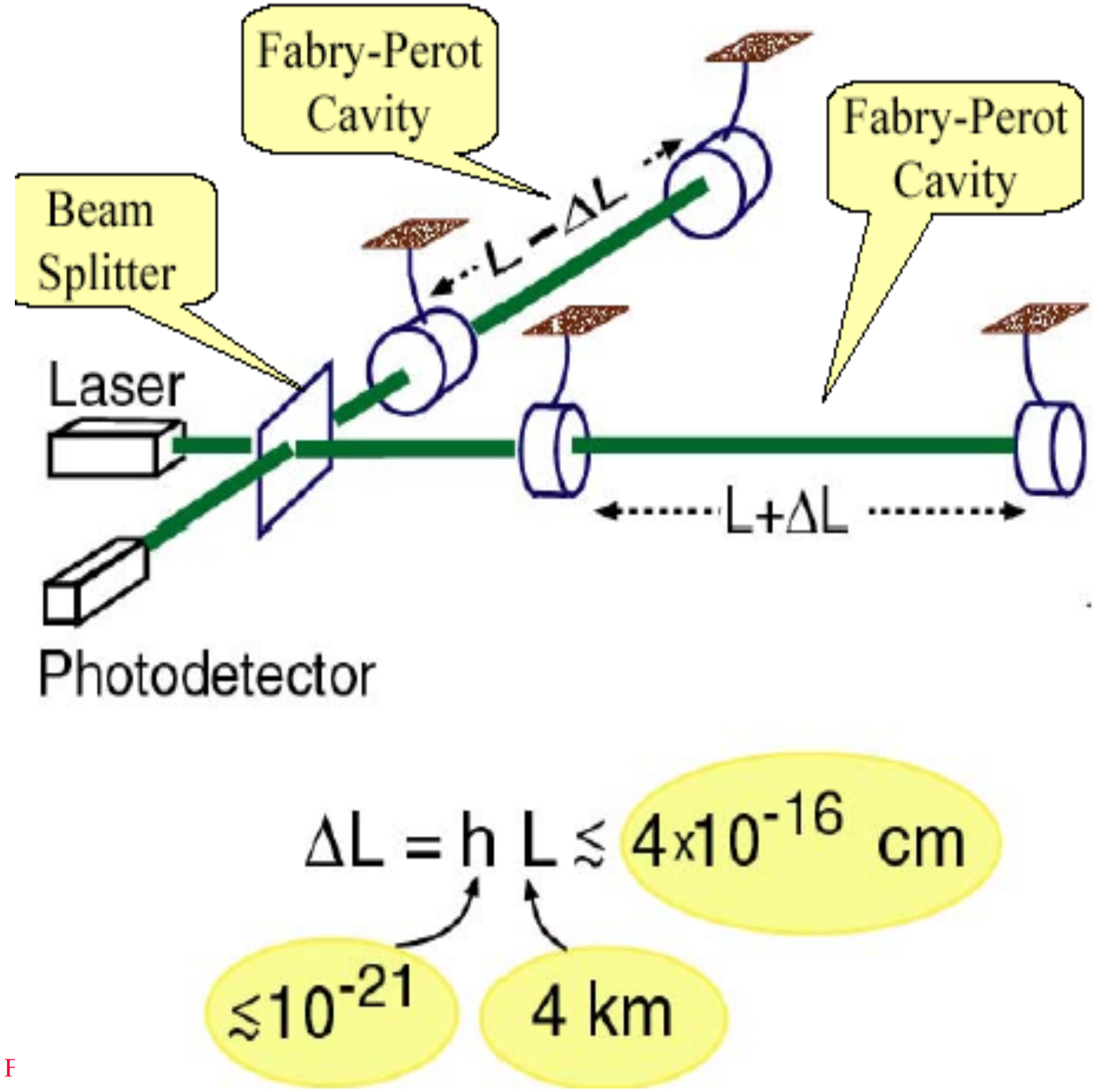
Sorgenti ad alta frequenza nel 2004 accessibili ai rivelatori a terra

- Coalescenza di sistemi binari con stelle di neutroni (forse origine di gamma burst),. Coalescenza di due black hole. **In questi casi il segnale parte da frequenze basse per poi aumentare di frequenza con il tempo**
- Supenovae galattiche se collasso non simmetrico
- Fondo cosmologico, sembra difficile con le teoria standard dell'inflazione. Alcune teorie di superstinghe o brane predicono segnali piu' alti forse visibili con rivelatori futuri
- onde continue da stelle di neutroni
- **XY (sorgenti sconosciute) è la più probabile di tutte e la piu' interessante**
- **In astronomia ogni nuovo strumento usante nuovi tipi di radiazioni ha riservato sorprese (radio astronomia, X ray, gamma burst..)**

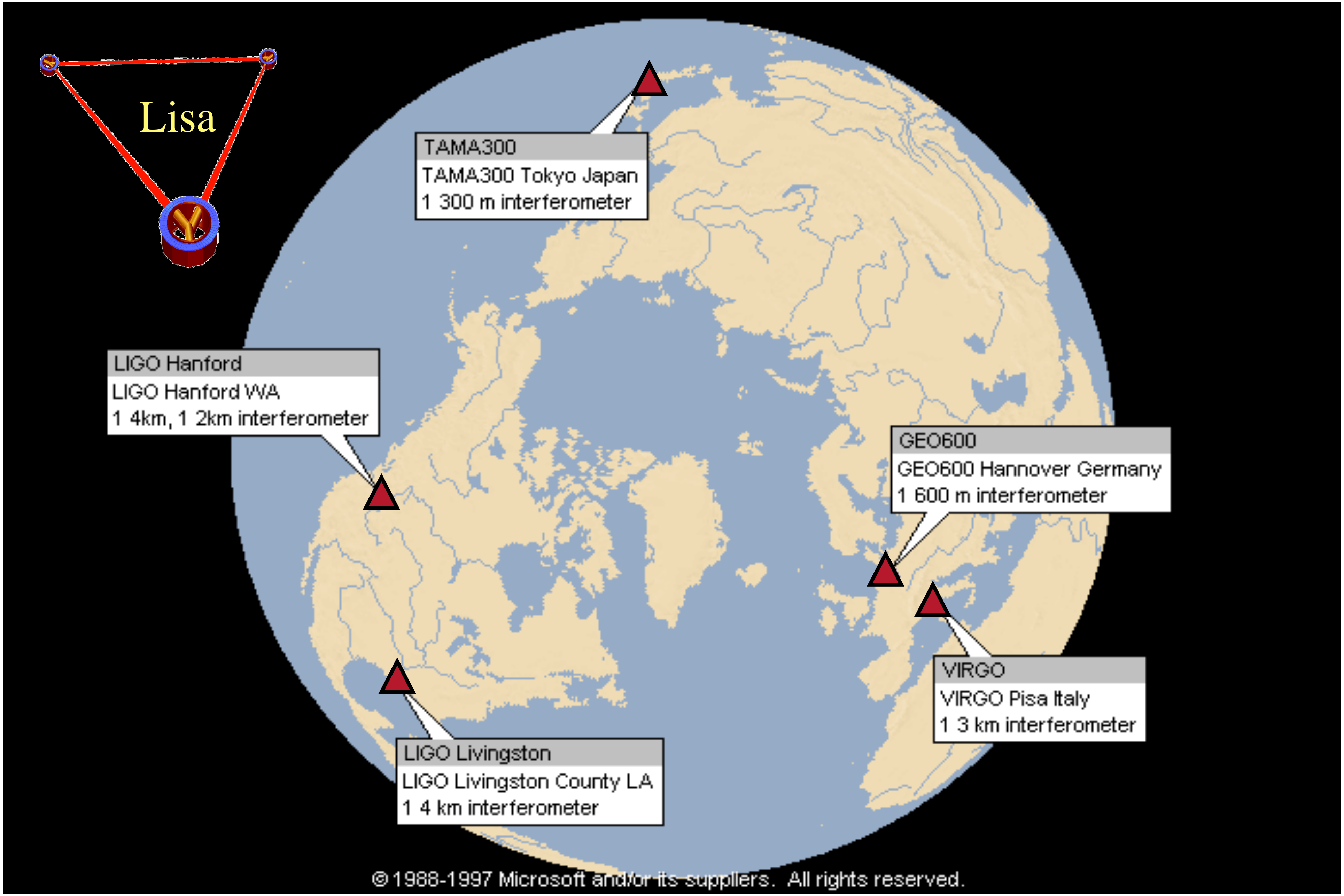
Rivelatori di Onde Gravitazionali

1- Interferometri laser

2 -barre a bassa temperatura


Fabry-Perot Cavity
Fabry-Perot Cavity
Beam Splitter
Laser
Photodetector
L − ΔL
L+ΔL
ΔL = h L ≲ 4x10⁻¹⁶ cm
≲10⁻²¹
4 km

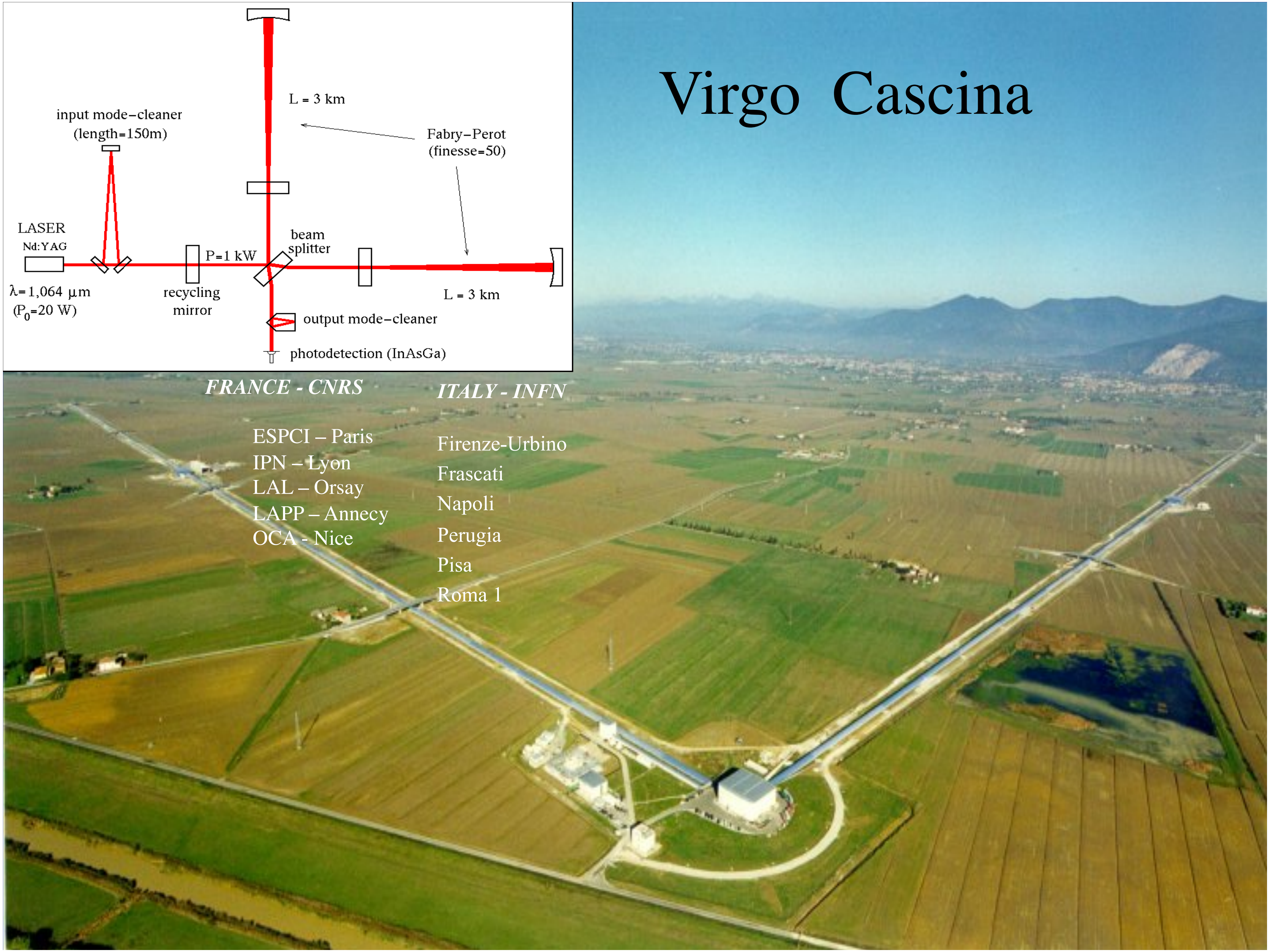
Gli interferometri nel mondo



Lisa
TAMA300
TAMA300 Tokyo Japan
1 300 m interferometer
LIGO Hanford
LIGO Hanford WA
1 4km, 1 2km interferometer
GEO600
GEO600 Hannover Germany
1 600 m interferometer
VIRGO
VIRGO Pisa Italy
1 3 km interferometer
LIGO Livingston
LIGO Livingston County LA
1 4 km interferometer

© 1988-1997 Microsoft and/or its suppliers. All rights reserved.

Virgo Cascina


input mode−cleaner
(length=150m)
LASER
Nd:YAG
λ=1,064 µm
(P0=20 W)
recycling
mirror
P=1 kW
beam
splitter
L = 3 km
Fabry−Perot
(finesse=50)
L = 3 km
output mode−cleaner
photodetection (InAsGa)

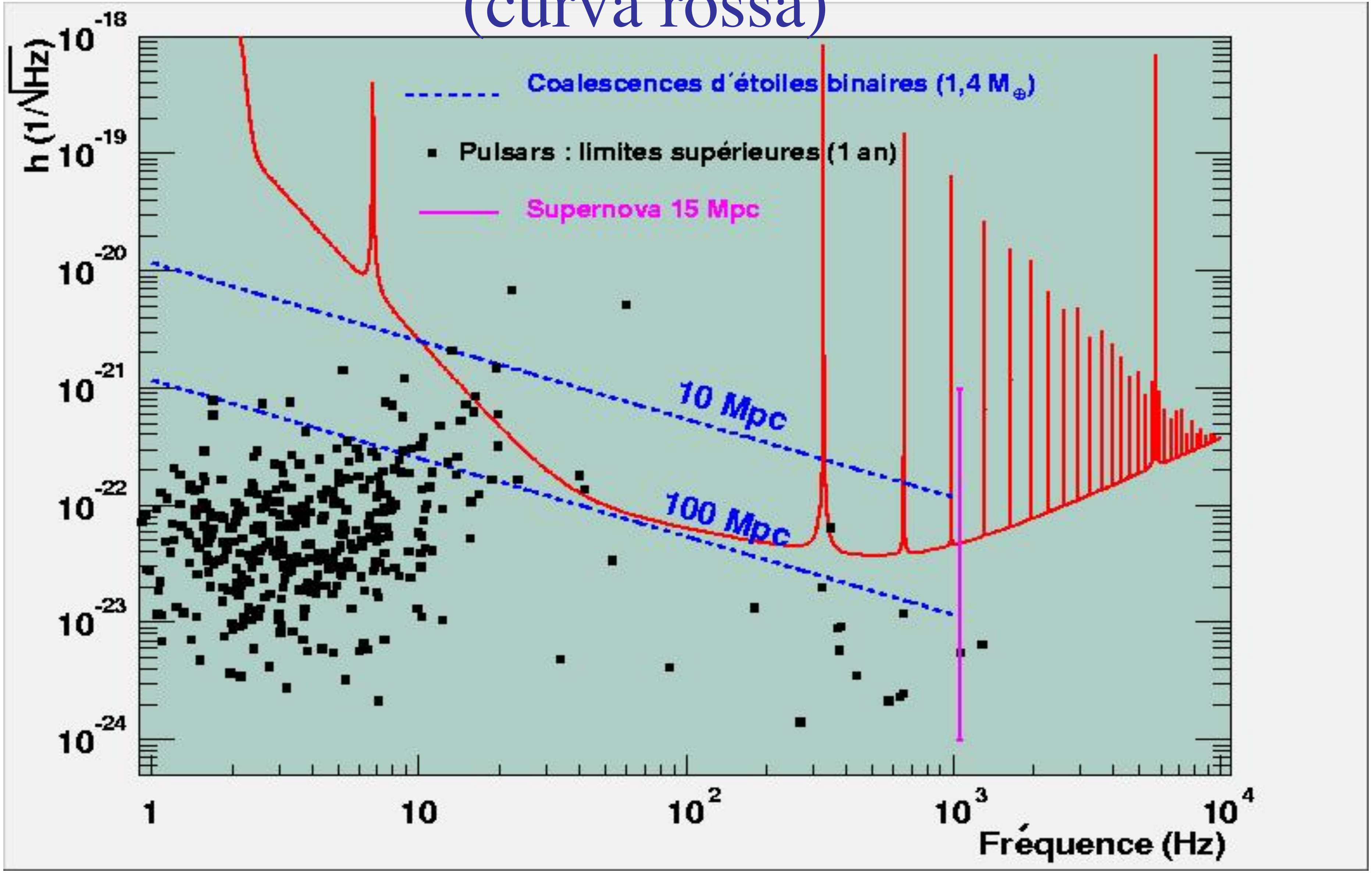
FRANCE - CNRS

- ESPCI – Paris
- IPN – Lyon
- LAL – Orsay
- LAPP – Annecy
- OCA - Nice

ITALY - INFN

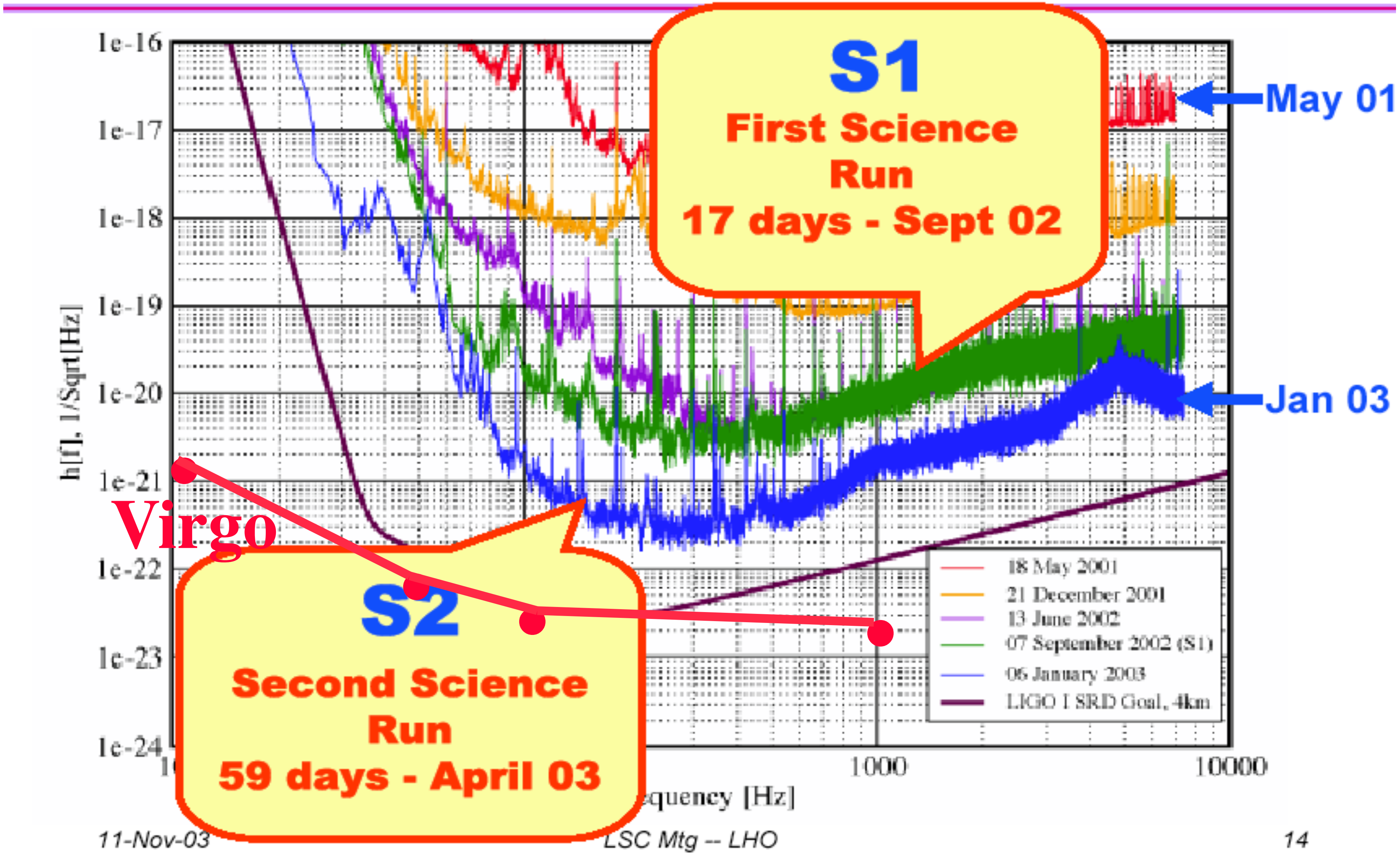
- Firenze-Urbino
- Frascati
- Napoli
- Perugia
- Pisa
- Roma 1

Virgo Sensibilità prevista
(curva rossa)



La concorrenza in USA

LIGO Sensitivity -- L1



S1

First Science Run

17 days - Sept 02

S2

Second Science Run

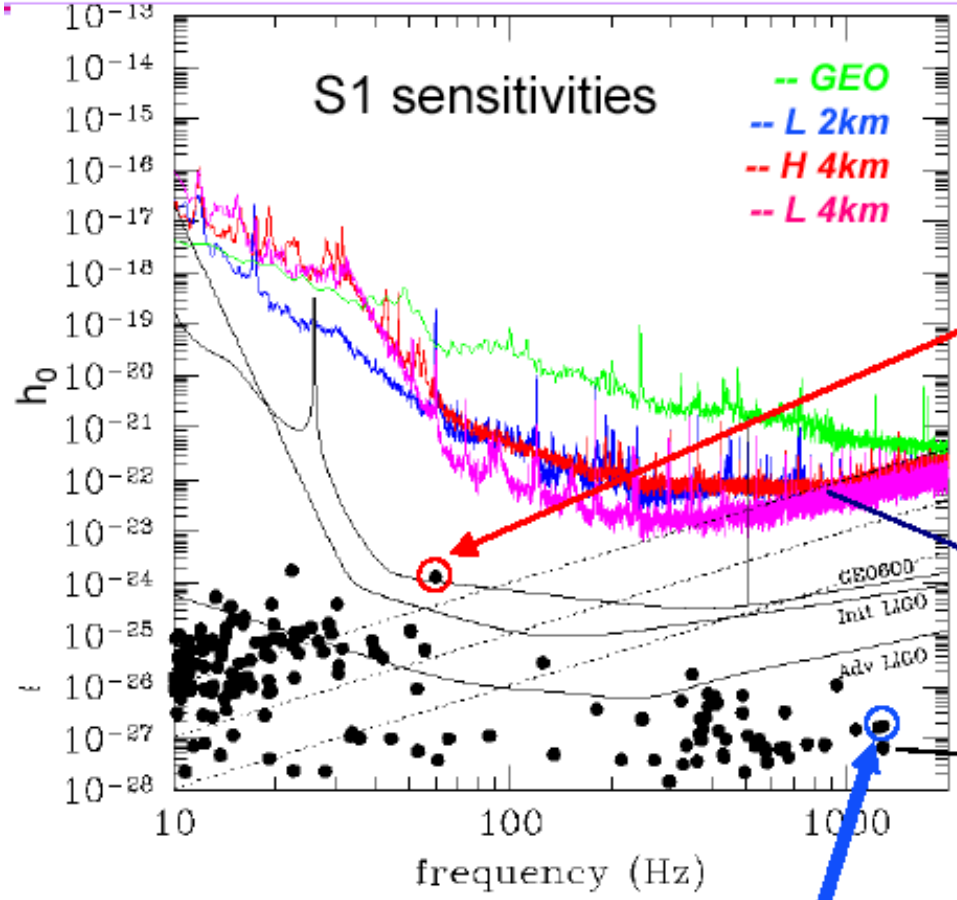
59 days - April 03

May 01

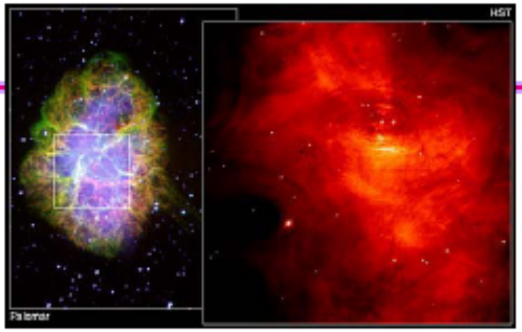
Jan 03

Virgo

Periodic Sources



Crab pulsar



- h_0: Amplitude detectable with 99% confidence during observation time T

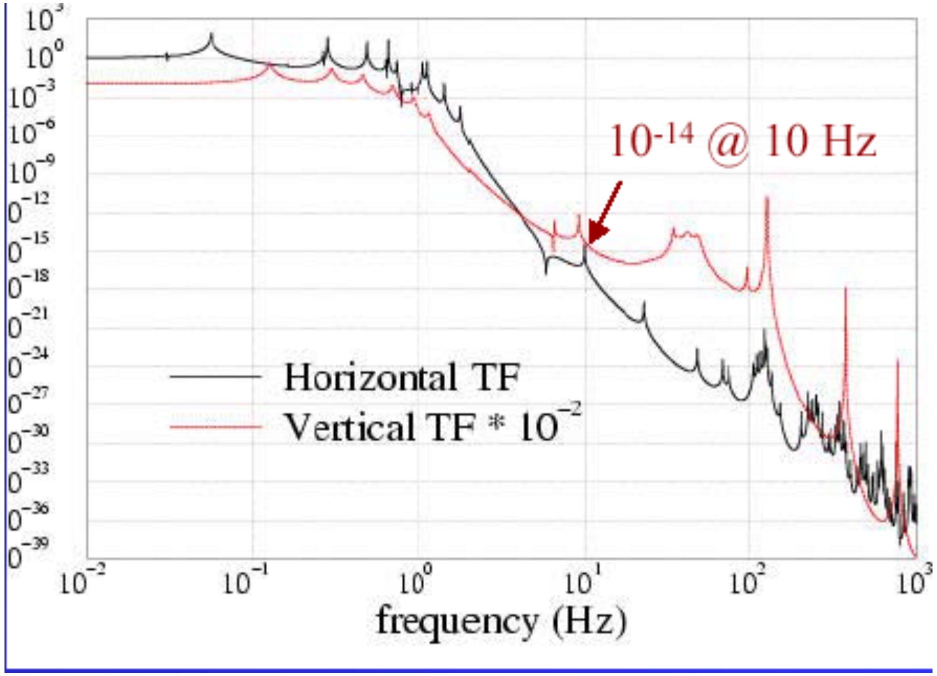
$$\langle h_0 \rangle = 11.4\sqrt{S_n(f_s)/T}$$

- *Limit of detectability for rotating NS with equatorial ellipticity, $\varepsilon = \delta I/I_{zz}$:*
  10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} @ 10 kpc
- *Known EM pulsars*
  - *Values of h_0 derived from measured spin-down*
    - *IF spin-down were entirely attributable to GW emissions*
    - *Rigorous astrophysical upper limit from energy conservation arguments*

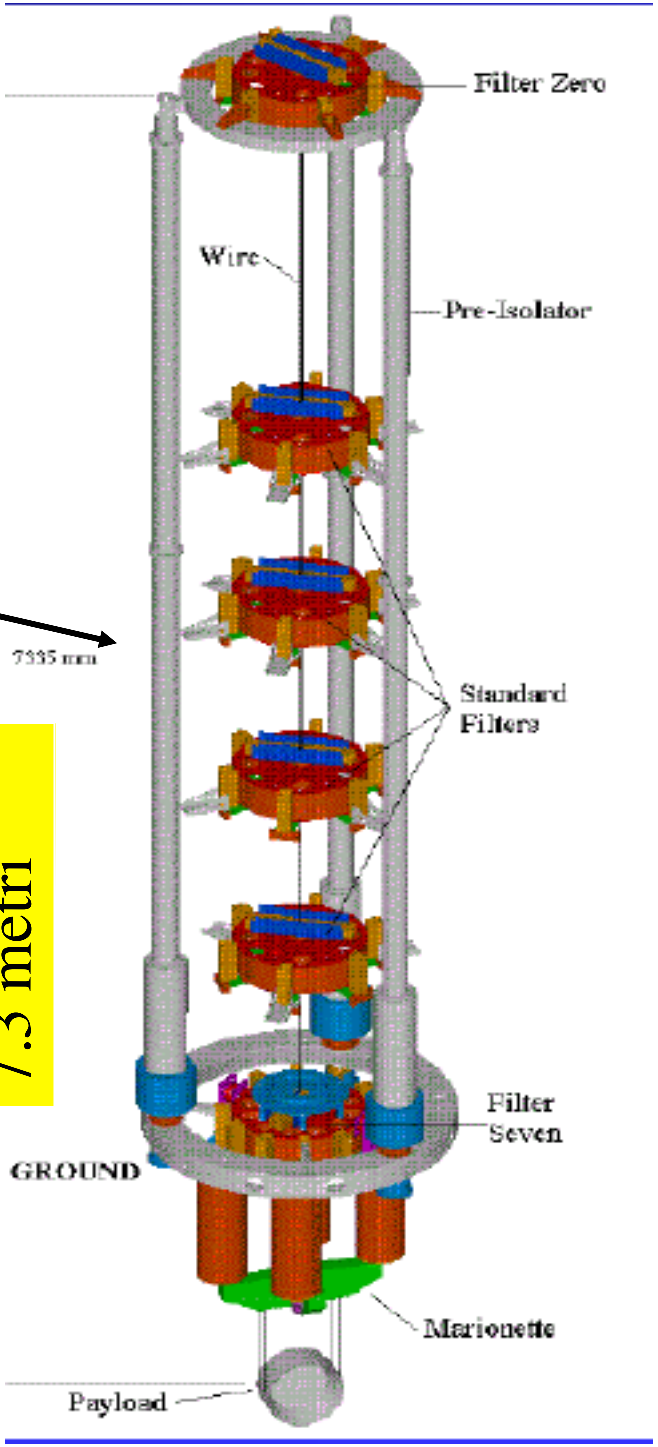
PSR J1939+2134
P = 0.00155781 s
f_{GW} = *1283.86 Hz*
P = 1.0519 10^{-19} s/s
D = 3.6 kpc

Vantaggi di VIRGO

- migliore attenuazione del rumore sismico (limita alle basse frequenze)
- merito dei "superattenautori "; lungo sviluppo durato più di un decennio

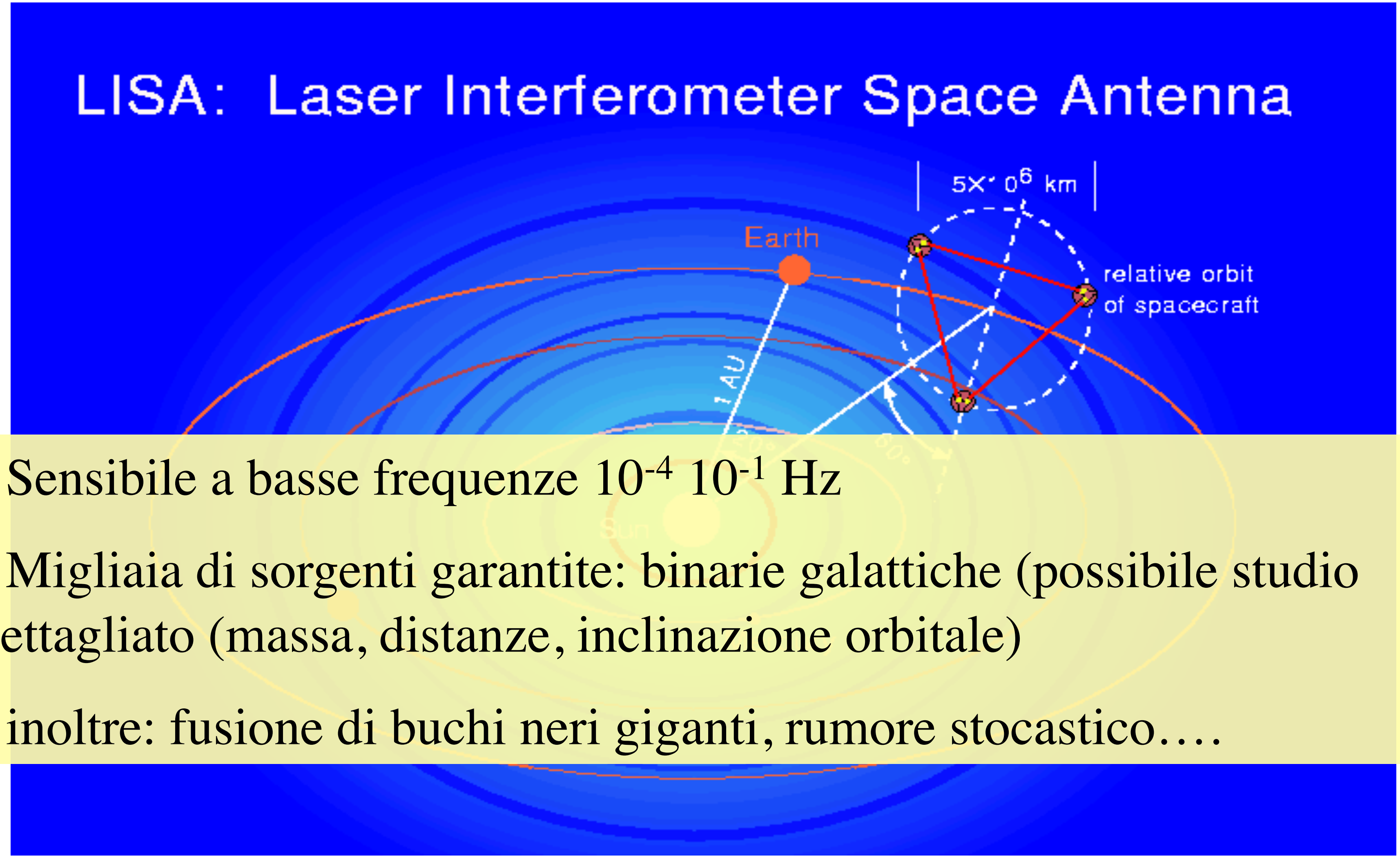


7.3 metri


Filter Zero
Wire
Pre-Isolator
7335 mm
Standard Filters
Filter Seven
GROUND
Marionette
Payload

Un interferometro nello spazio LISA

ESA-NASA + .. INFN

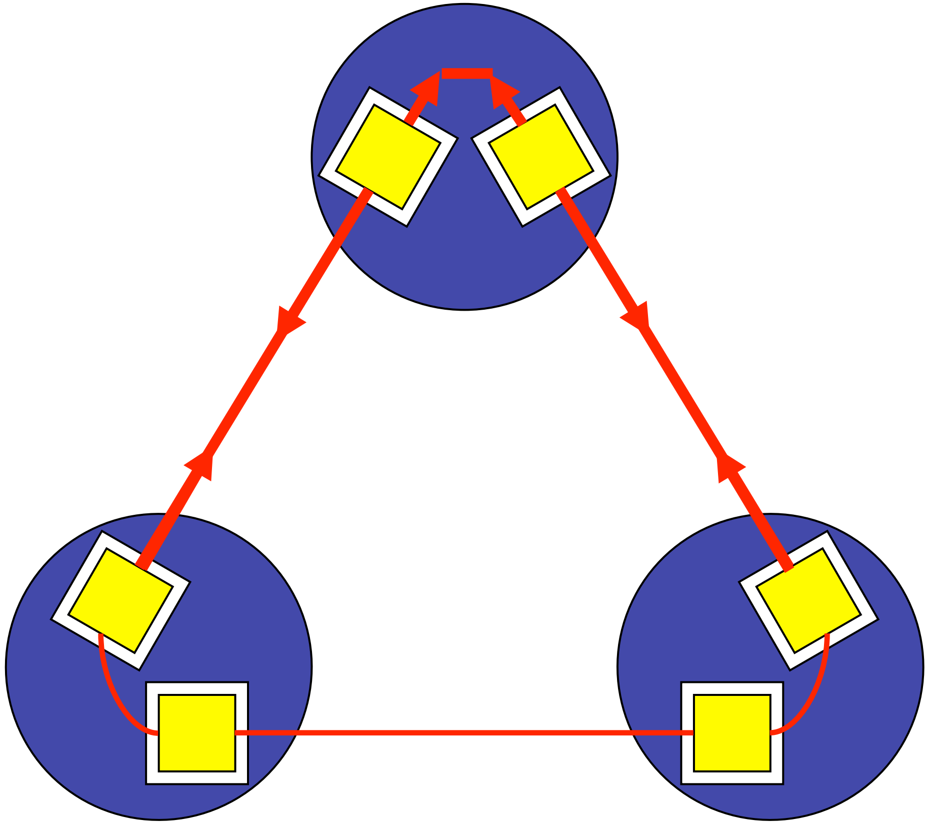

LISA: Laser Interferometer Space Antenna
5×10⁶ km
Earth
relative orbit
of spacecraft
1 AU
20°
60°
Sun

- Sensibile a basse frequenze 10^{-4} 10^{-1} Hz
- Migliaia di sorgenti garantite: binarie galattiche (possibile studio dettagliato (massa, distanze, inclinazione orbitale)
- inoltre: fusione di buchi neri giganti, rumore stocastico….

Missione dopo 2010 per il momento R/D (SMART-2)

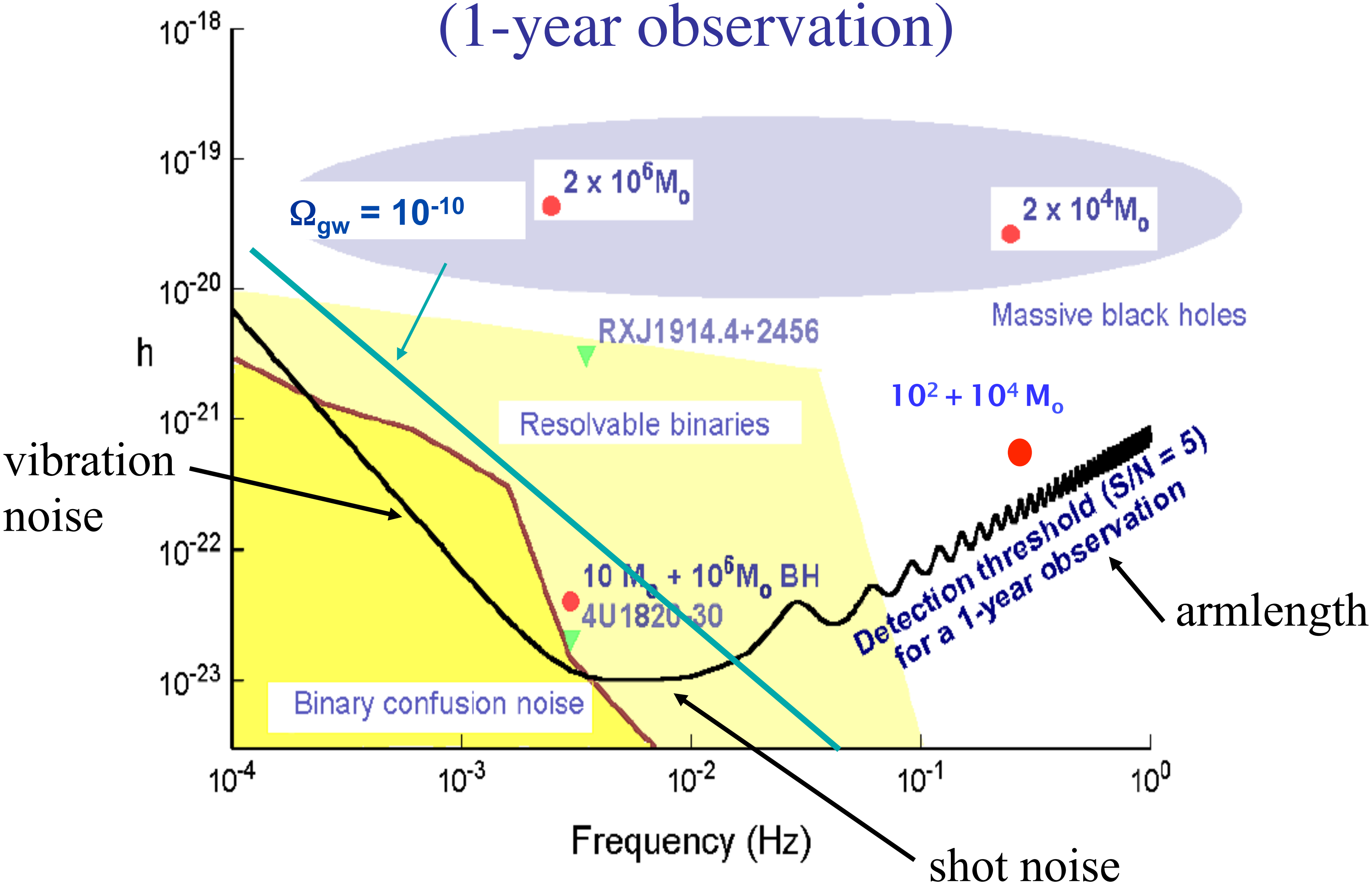
LISA

- Each S/C carries 2 lasers,
  2 telescopes, 2 test masses
- Local lasers phase-locked
- Lasers on distant S/C phase-locked to incoming light



LISA sensitivity curve

(1-year observation)

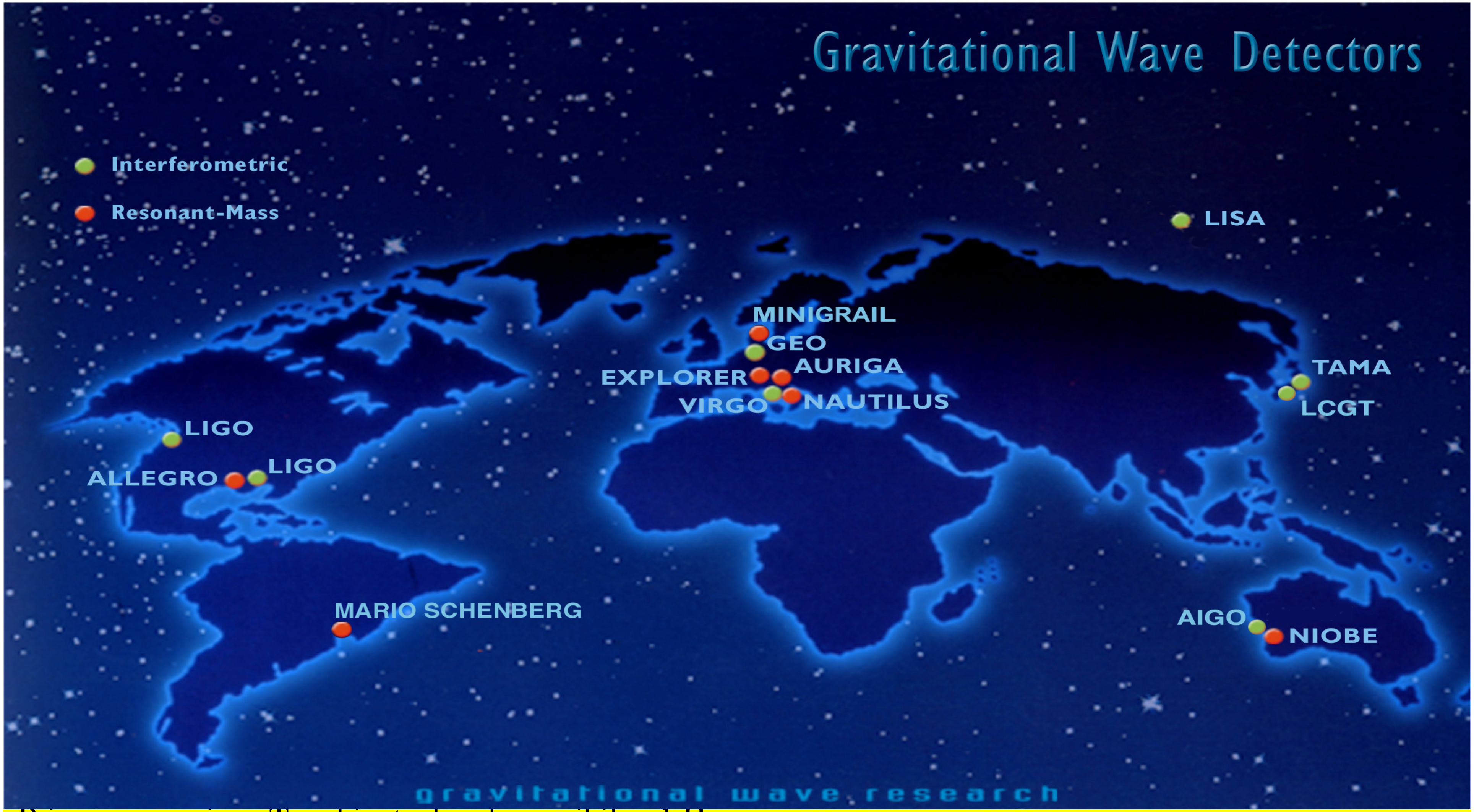


vibration noise

armlength

shot noise

Rivelatori a barre o sfere risonanti

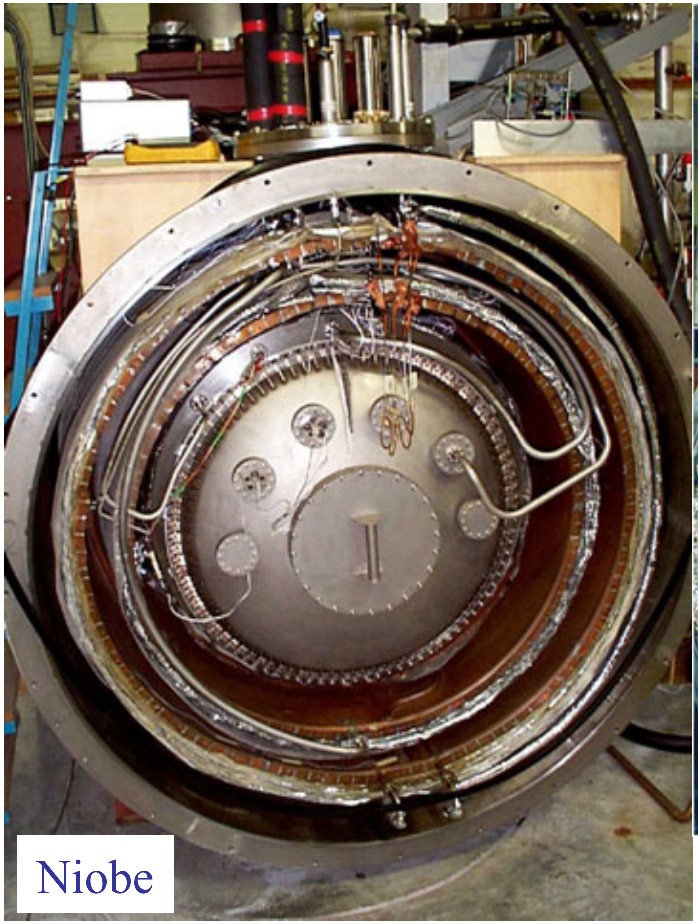

Gravitational Wave Detectors
Interferometric
Resonant-Mass
LISA
MINIGRAIL
GEO
AURIGA
EXPLORER
VIRGO
NAUTILUS
TAMA
LCGT
LIGO
ALLEGRO
LIGO
MARIO SCHENBERG
AIGO
NIOBE
gravitational wave research

Prima generazione T ambiente banda sensibile ~1 Hz

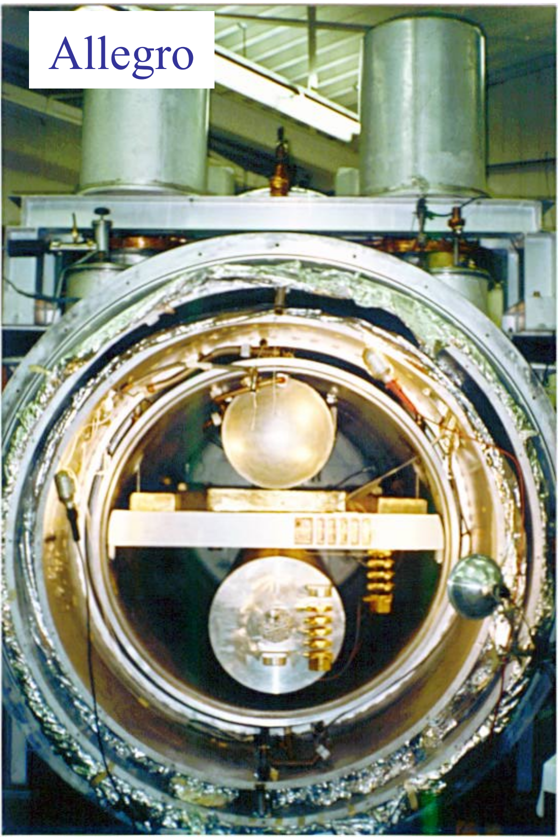
Seconda generazione T <4 Kelvin banda ~ 1 Hz

Terza generazione T < 4 Kelvin banda > 10 Hz (le tre italiane)

Rivelatori a barre risonanti



Australia Perth

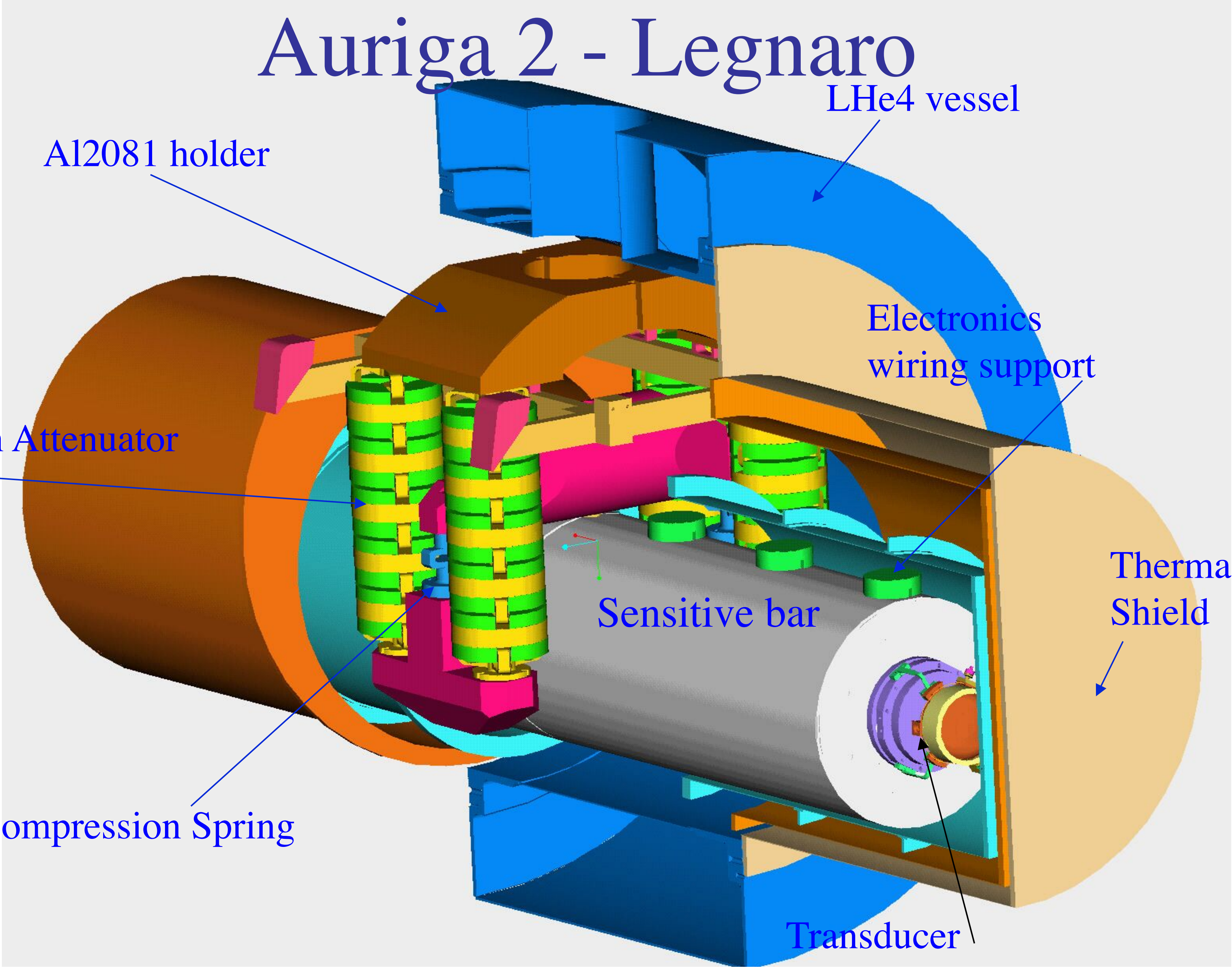


USA Lousiana

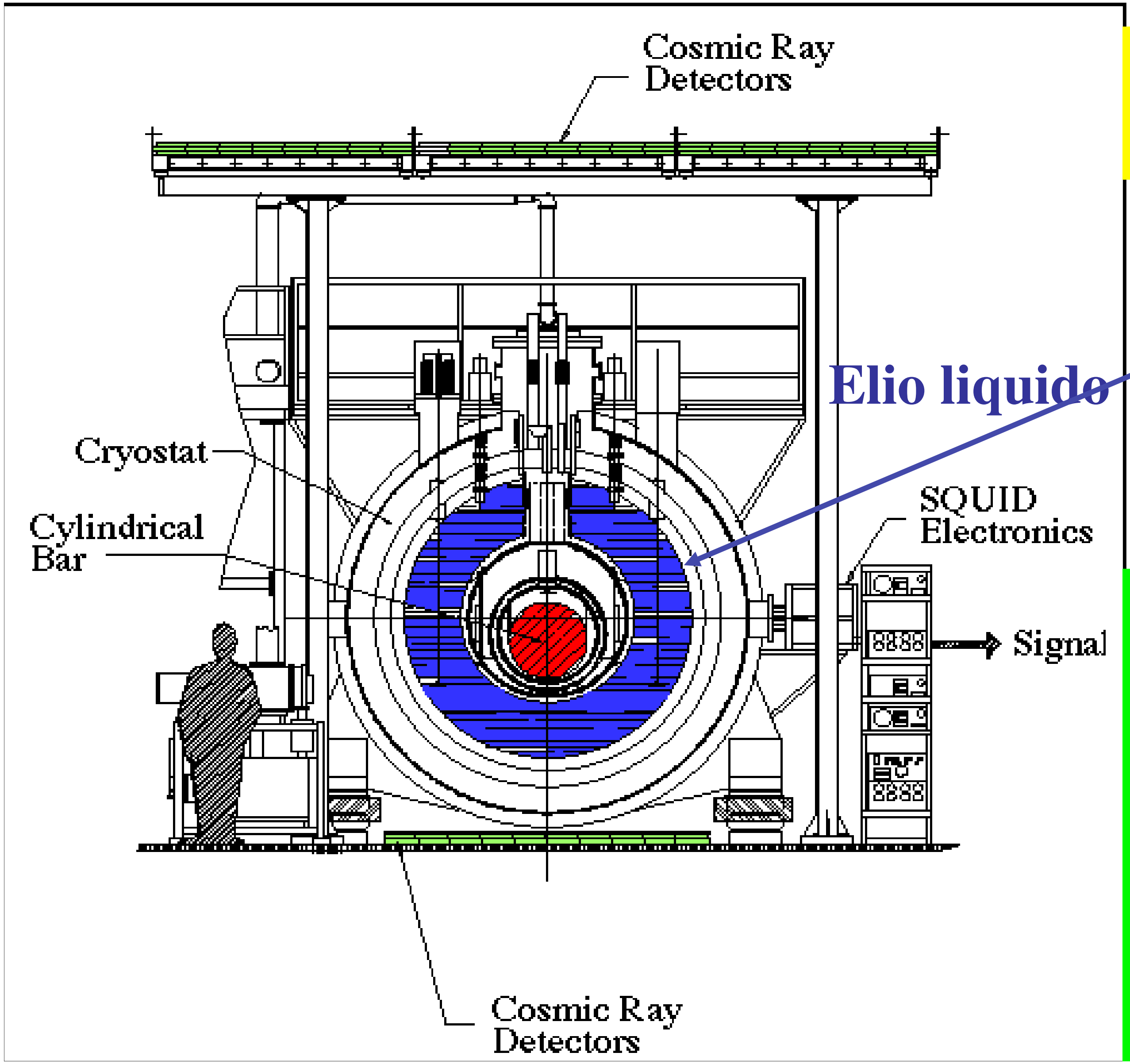
Nautilus Frascati

Rivelatore cosmici

Auriga 2 - Legnaro


LHe4 vessel
Al2081 holder
Electronics
wiring support
Main Attenuator
Thermal
Shield
Sensitive bar
Compression Spring
Transducer

Elementi principali di un rivelatore risonante - Nautilus


Cosmic Ray Detectors
Cryostat
Cylindrical Bar
SQUID Electronics
Signal
Cosmic Ray Detectors

Elio liquido

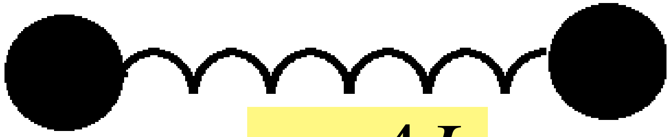
Barra di 2300 Kg di AL 5056 L=3 m r=0.3m

Sezione centrale : 2 schermi di alluminio, serbatoio per **2000 litri** di Elio, refrigeratore a diluizione con ^{3}He ^{4}He

Isolamento meccanico: schermi sospesi uno all'altro formando catena di filtri passa basso, alla fine cavo di rame ad U attorno alla barra 260 db a 1 Khz

Interazione di Onde Gravitazionali con una barra risonante

Barra cilindrica oscillante equivalente ad oscillatore con due masse connesse da una molla:



M/2

$$l = \frac{4L}{\pi^2}$$

Con onda gravitazionale h_+:

$$\ddot{\xi}(t) + \omega_0 \frac{\dot{\xi}}{2Q} + \omega_0^2 \xi(t) = l \frac{\ddot{h}(t)}{2}$$

$$Q = \frac{1}{2}\tau\omega_0$$

Se onda continua di pulsazione Ω

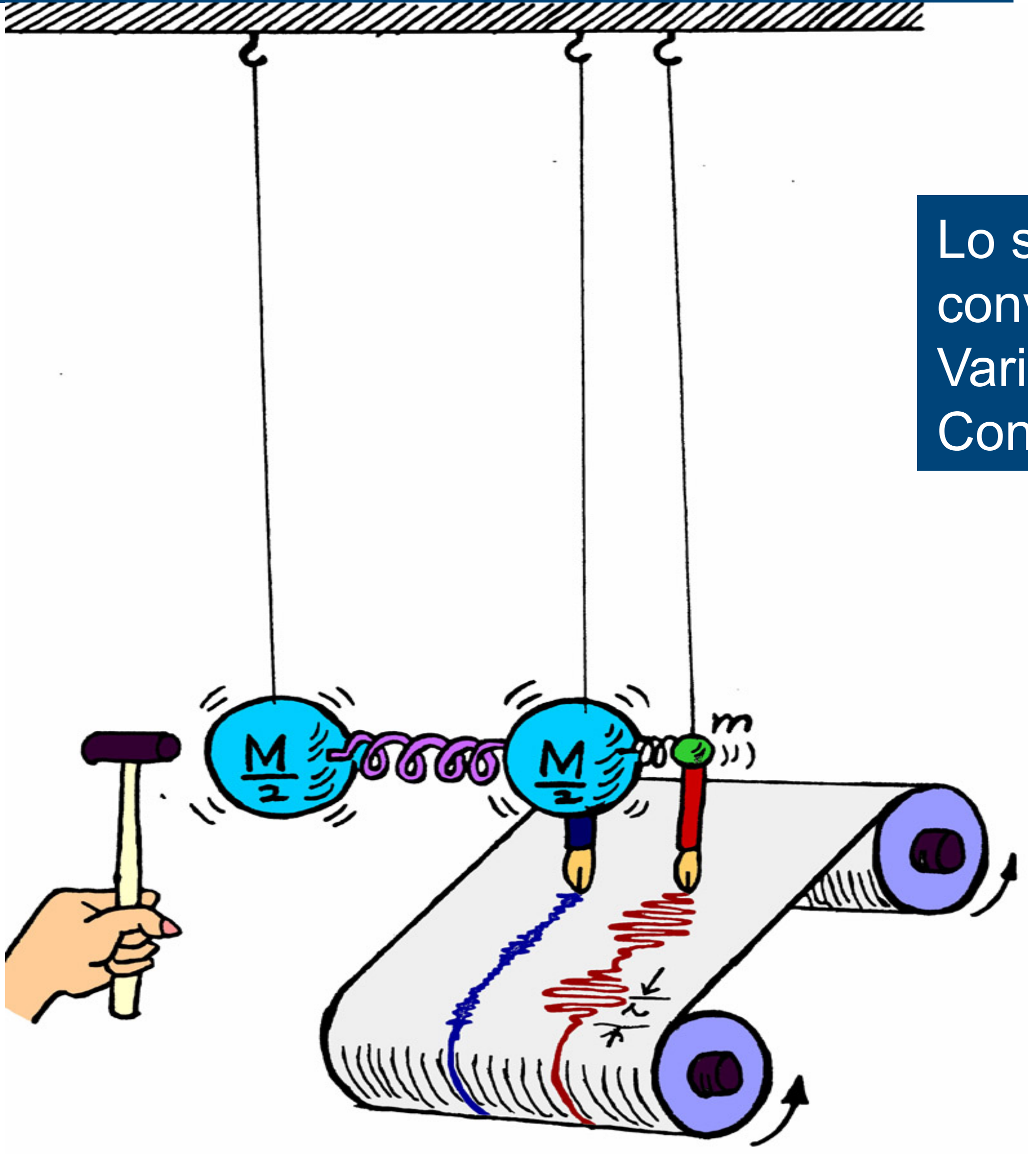
$$\xi(t) = \frac{1}{2} \frac{l\Omega^2 h_0}{\sqrt{(\omega_0 - \Omega)^2 + 4\frac{\Omega^2\omega_0{}^2}{Q^2}}} \cos(\Omega t) =$$

Per $\Omega = \omega_o$: $\xi_0 = \frac{Q}{2} l h_0$

Servono Q elevati

Numeri molto piccoli! per $h=10^{-20}$ $E=10^{-20}$ Joules

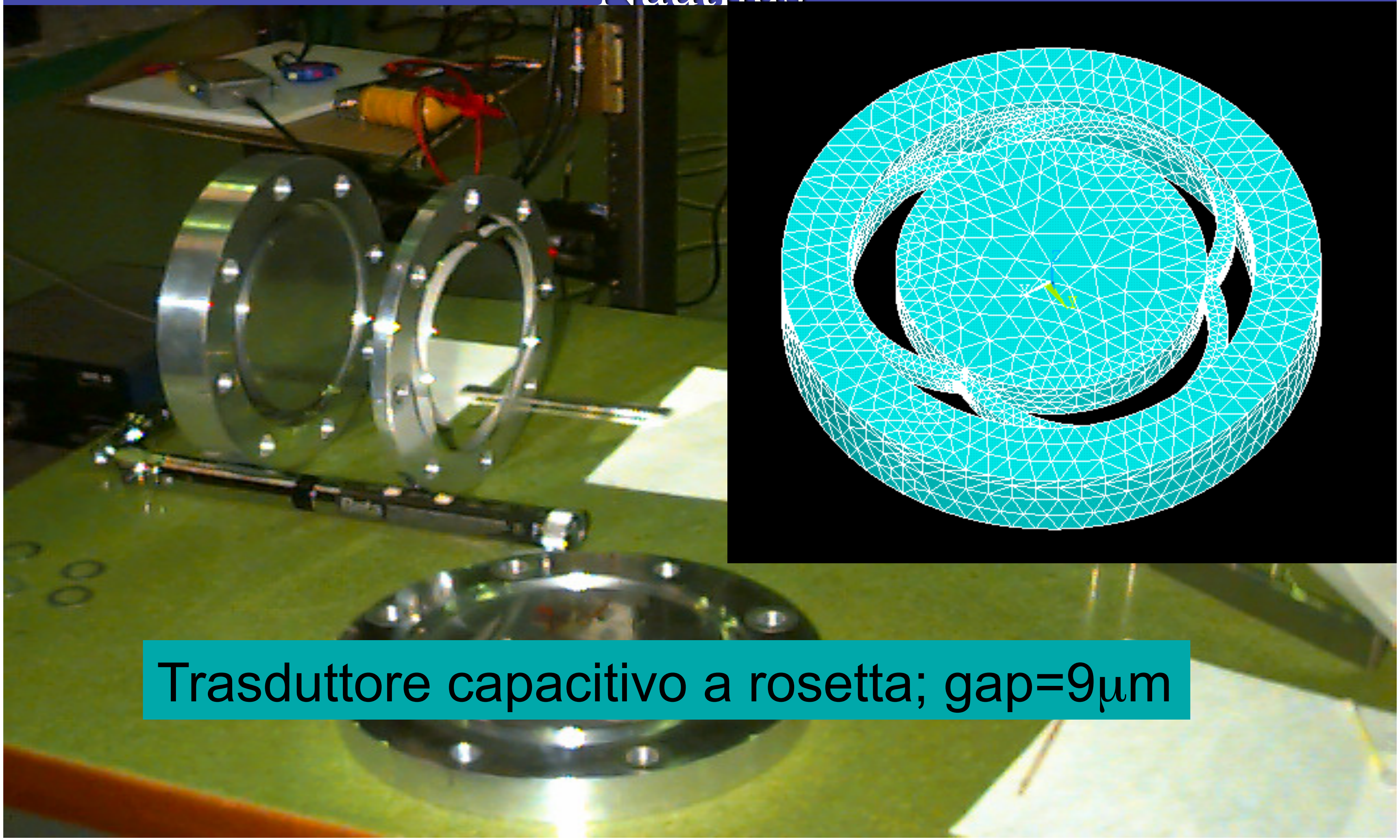
Principio di un trasduttore risonante



Lo spostamento della massa m convertito in segnale elettrico
Vari sistemi possibili
Condensatore, cavità

$$x_m = \sqrt{\frac{M}{m}}x_M$$

Trasduttore montato recentemente su Explorer e Nautilus



Trasduttore capacitivo a rosetta; gap=9μm

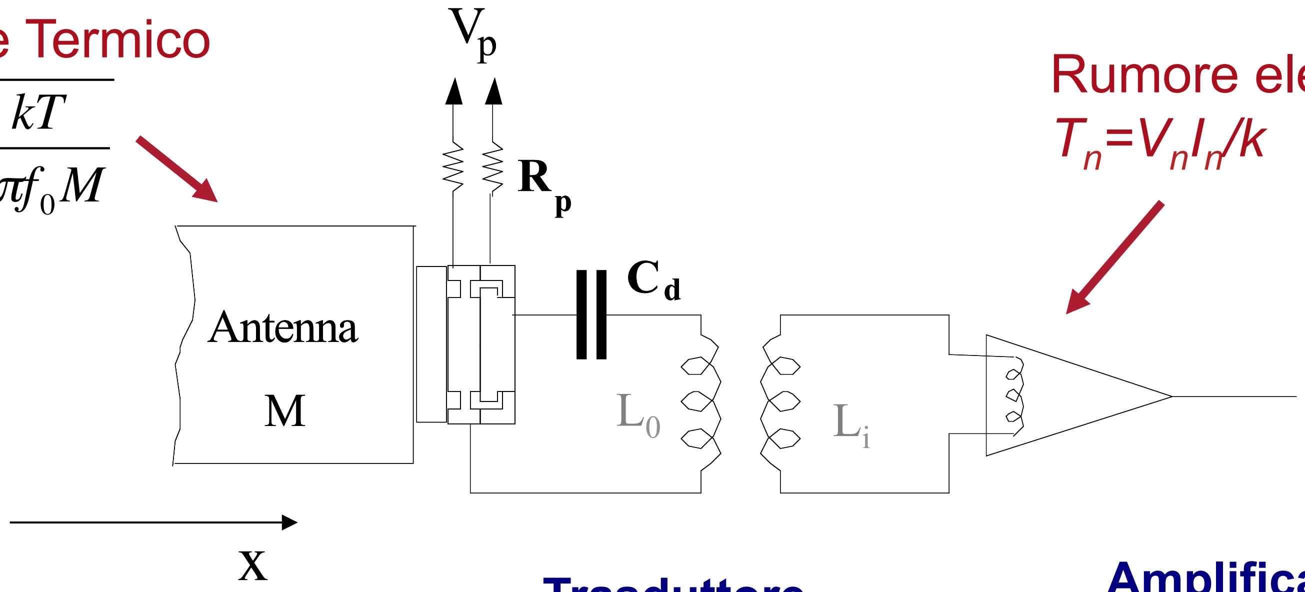
Conversione del segnale meccanico in elettrico trasduttore risonante

Rumore Termico

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{kT}{2\pi f_0 M}}$$

Rumore elettronico

$T_n = V_n I_n / k$



Oscillatore Meccanico

Massa **M**

Temperatura **T**

Freq risonanza $\mathbf{f_r}$

Trasduttore

Efficienza di conversione in energia β

Amplificatore

Temperatura rumore $\mathbf{T_n}$

Circuito Equivalente schematizzabile con 3 oscillatori :
Antenna
Trasduttore
Amplificatore elettronico

Calibrazioni

piezoelettrico

- si manda un treno di impulsi noto al piezoelettrico, si osserva il segnale dopo l'eccitazione

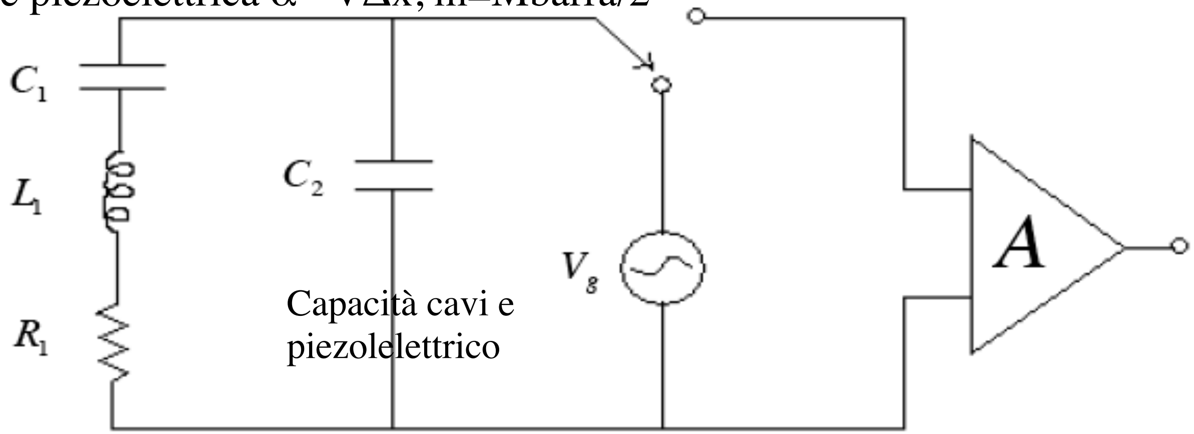
- basati sull'equivalenza con il circuito elettrico:

α a costante piezoelettrica $\alpha = V\Delta x$, m=Mbarra/2

$$C_1 = \frac{1}{\omega_0{}^2 L}$$

$$L = \frac{m}{\alpha^2 C_2^2}$$

$$R = \frac{\omega_0 m}{\alpha^2 C_2^2 Q}$$



C_2,Q,ω. si misurano direttamente, C_1 si misura applicando una tensione nota alla frequenza di risonanza poi commutando e misurando la tensione in uscita $C_1 = \dfrac{C_2 V_{out}}{Q V_{gen}}$

$$\alpha = \frac{\omega_0}{C_2}\sqrt{m C_1}$$

precisione ~ 1%

Controllo : misura temperatura termodinamica

Misura campo vicino di masse rotanti

Acquisizione dati

- segnale pre-amplificato con uno SQUID. Trasformatore superconduttore per adattamento impedenza

- guadagno controllato continuamente iniettando un flusso magnetico noto

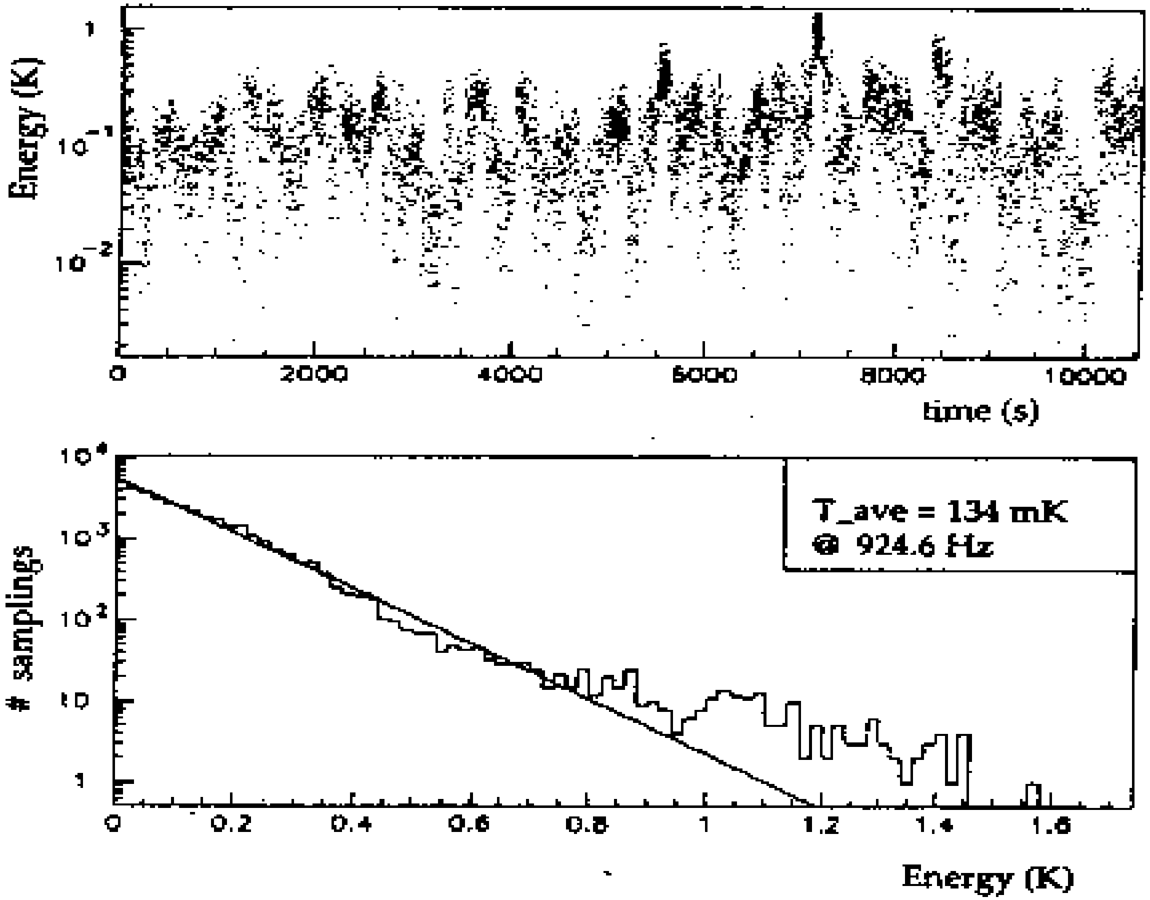
- calibrazione con piezoelettrici incollati sulla barra

- il segnale è mandato ad un ADC con campionamento 5Khz

- orologio GPS per sincronizzazione tempi

- si ricercano tipicamente segnale tipo delta; si usano procedure come il filtro di Wiener (equivalente ai minimi quadrati nel dominio delle frequenze) oppure il filtro matched

Misura rumore Browniano



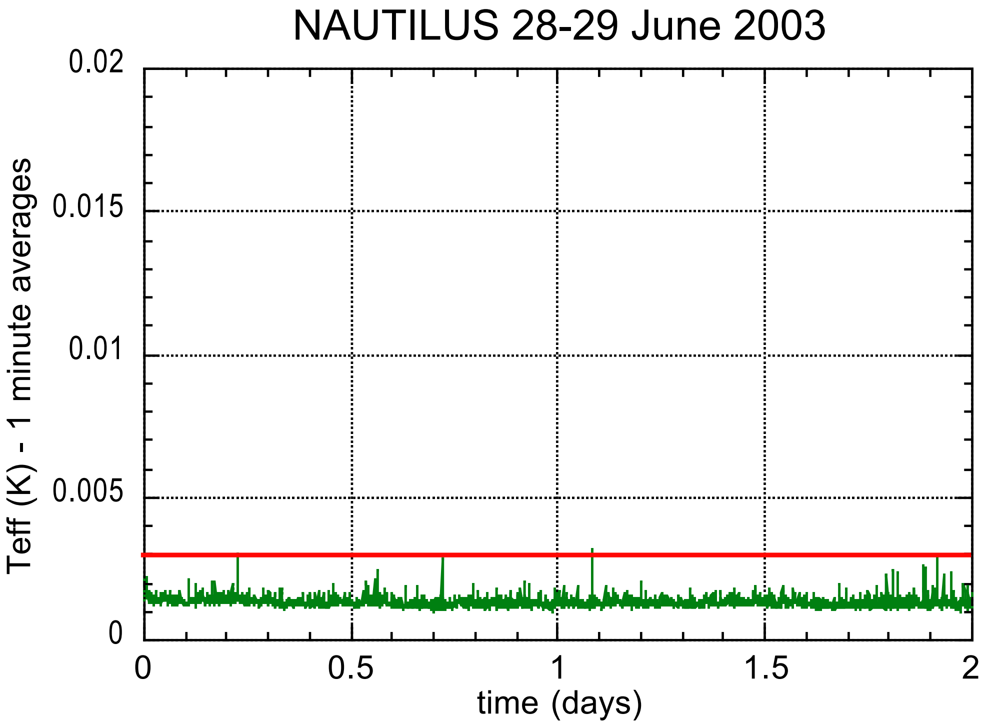
Nautilus 1998

FIG. 9 – Measurement of the Brownian noise: a) history and b) distribution of the vibration energy of the + mode in a three hours period. The average energy is in agreement with the thermodynamic temperature of the bar.

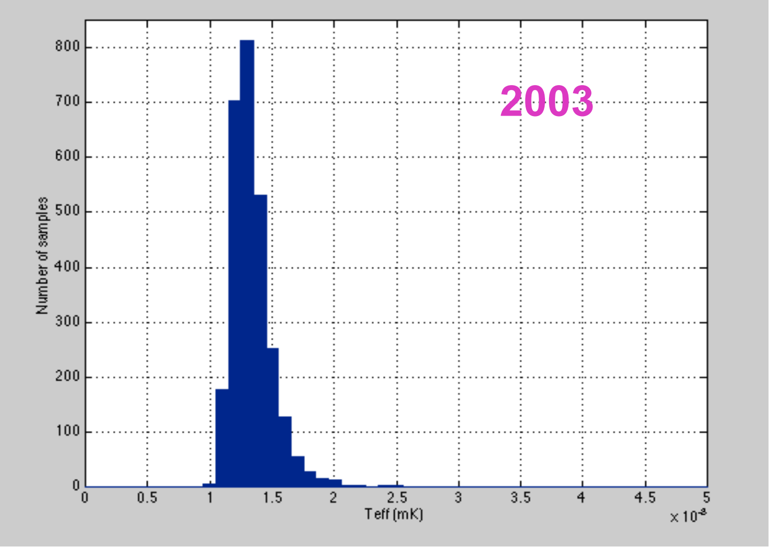
T da termometri ~ 0.1 Kelvin

T efficace per segnale tipo delta

- filtro matched



1.3 mK h~3 10^{-19}



Evoluzione banda passante- Explorer

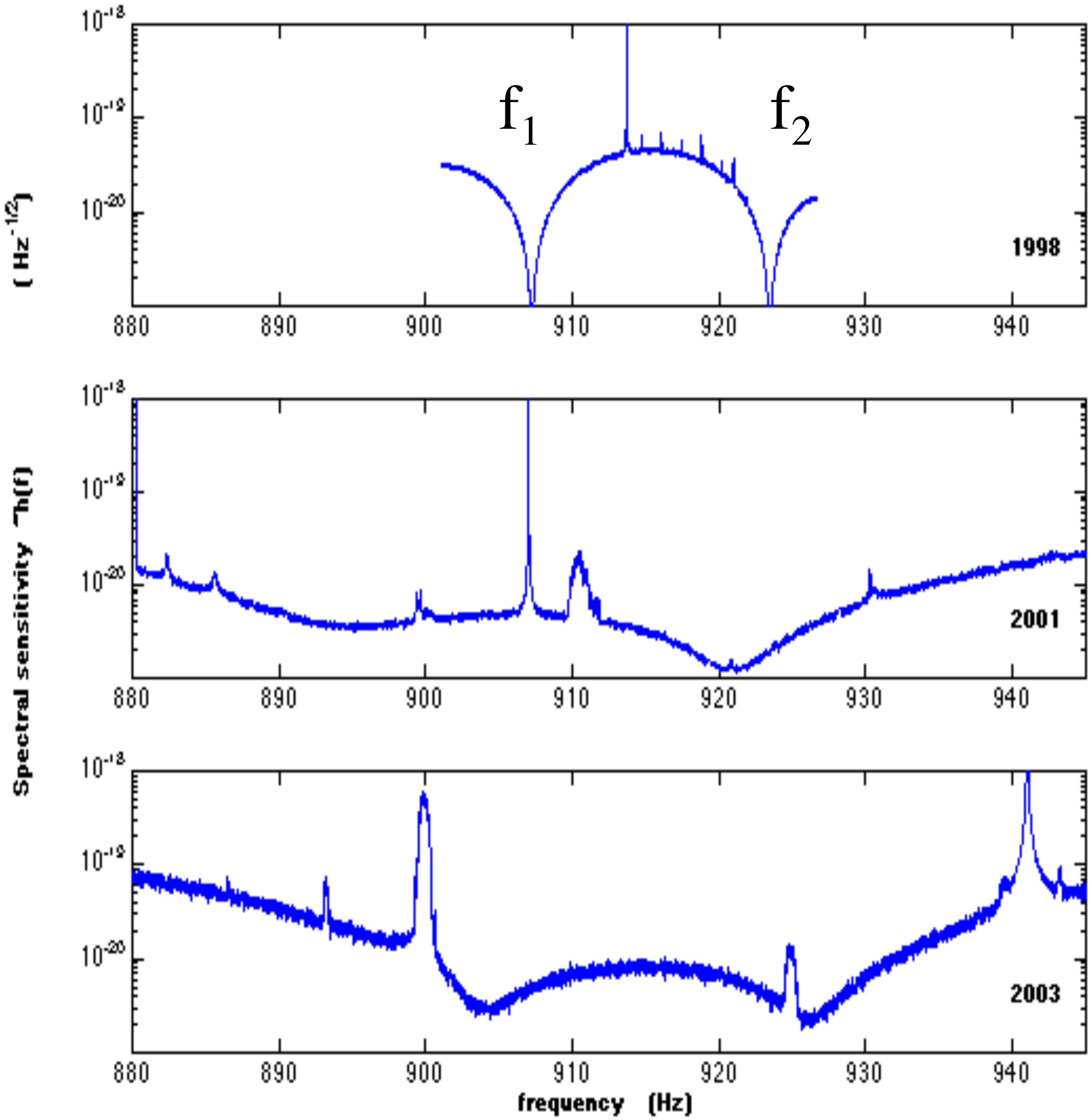
Il rapporto segnale/rumore termico in una barra non dipende dalla frequenza. Sensibilità a f risonanza migliore solo perchè segnale più grande rispetto rumore amplificatore

Explorer primo rivelatore ad allargare la banda alla regione delle decine di Hz

Nuovo trasduttore

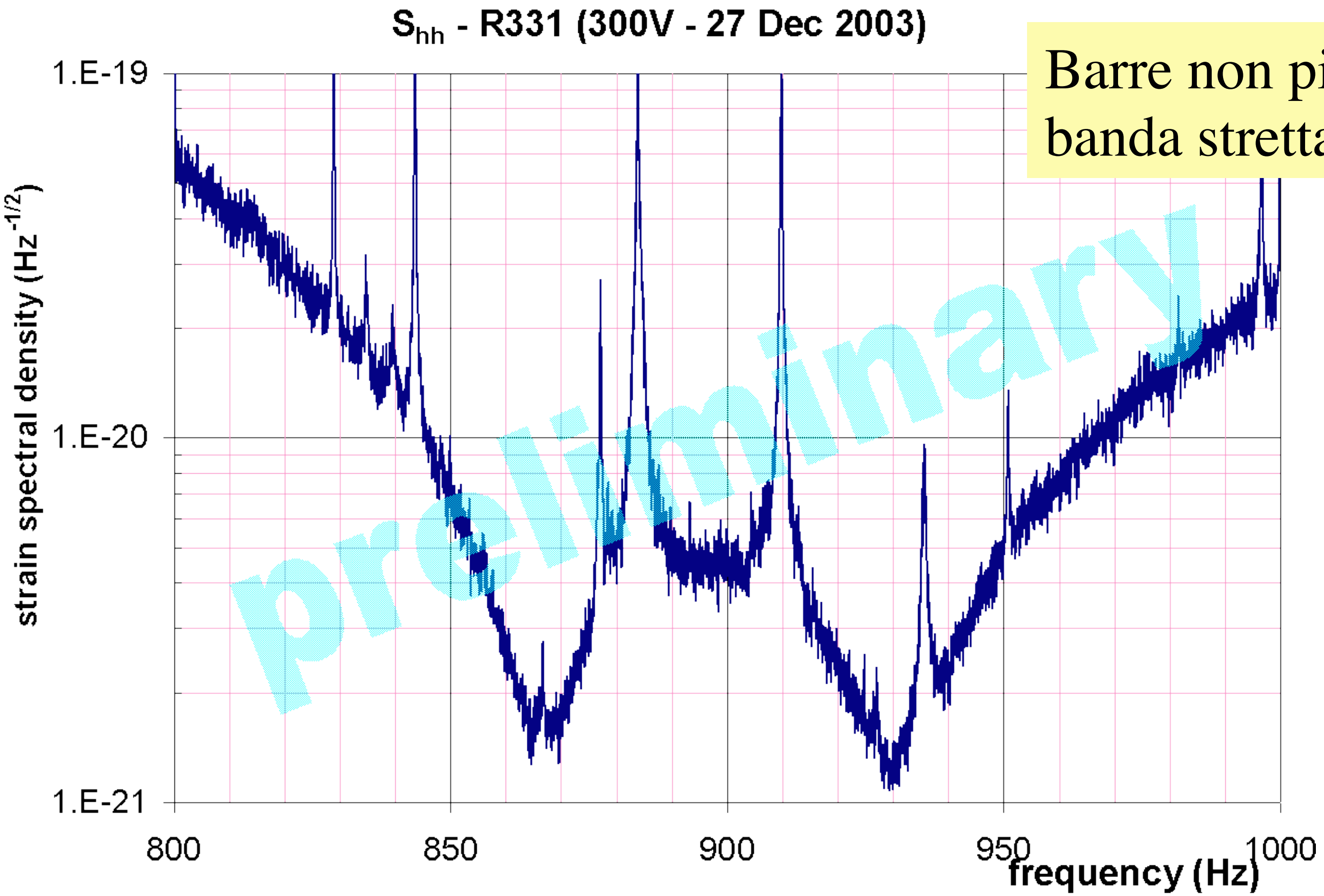
Nuovo Squid

Phys Rev Lett 2003



Recente miglioramento : Auriga2

100 Hz $S<10^{-20}$

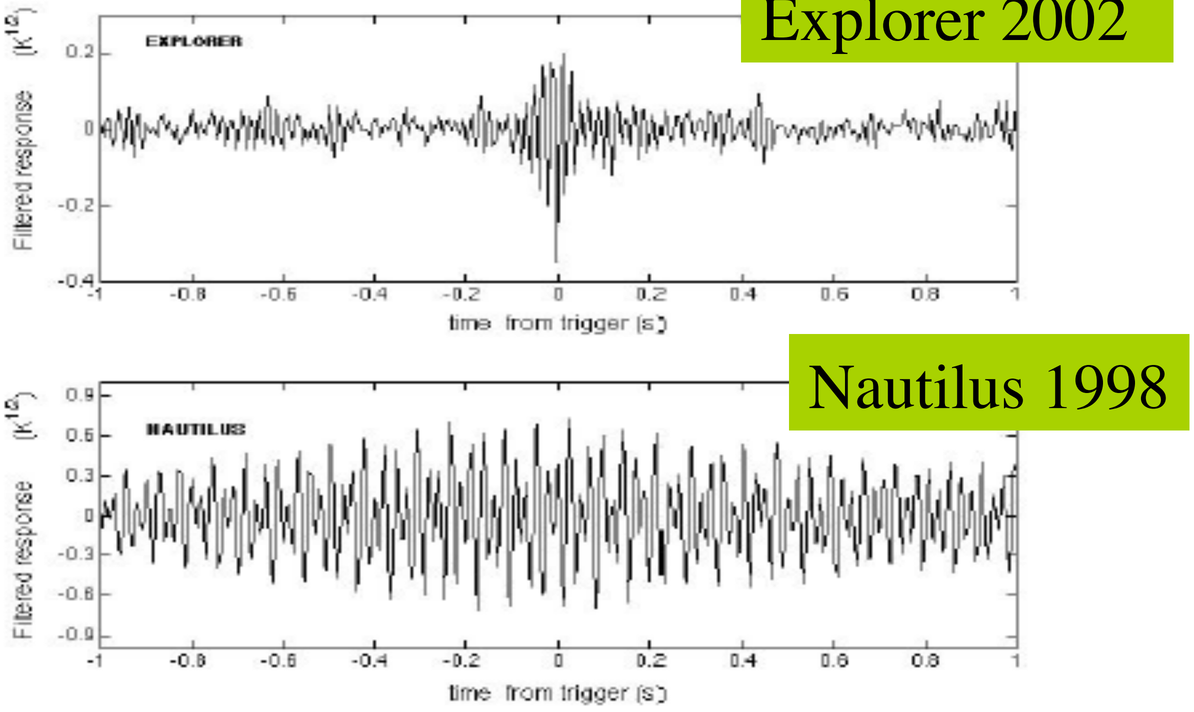


Barre non più a banda stretta!

Risoluzione temporale e larghezza di banda - sciami in Nautilus ed Explorer

La risoluzione temporale di un segnale delta va come 1/Δf

Aumentare Δf significa diminuire Δt



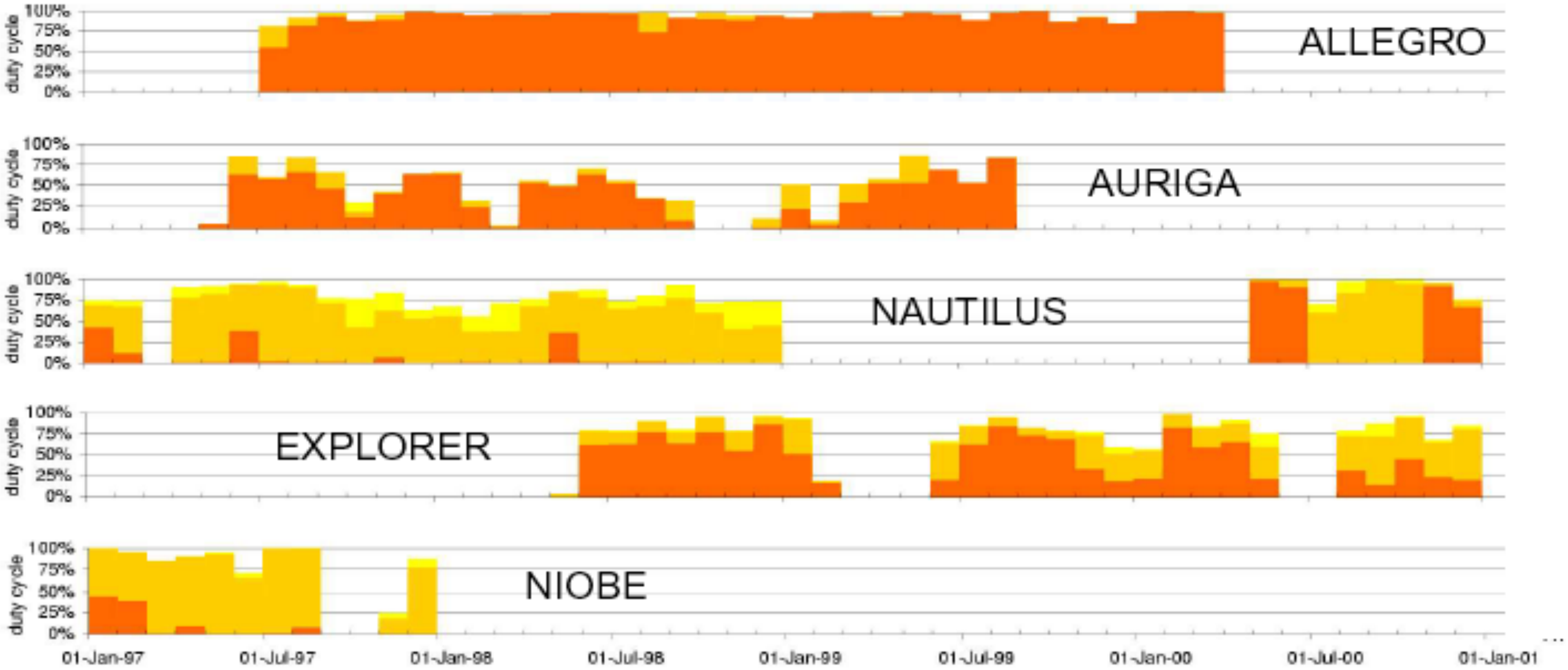
Explorer 2002

Nautilus 1998

FIG. 4. An event triggered by a cosmic ray shower. For comparison, we show a similar event detected by the Nautilus antenna [18] where the slow beats between the two normal modes can be clearly seen: the improvement in arrival time resolution is evident

Ricerca di Burst IGEC

EXCHANGED PERIODS of OBSERVATION 1997-2000



fraction of time in monthly bins

exchange threshold

☐ $H > 6 \cdot 10^{-21} Hz^{-1}$

🟨 $3 \div 6 \cdot 10^{-21} Hz^{-1}$

🟧 $H < 3 \cdot 10^{-21} Hz^{-1}$

H is ***Fourier amplitude*** of burst gw

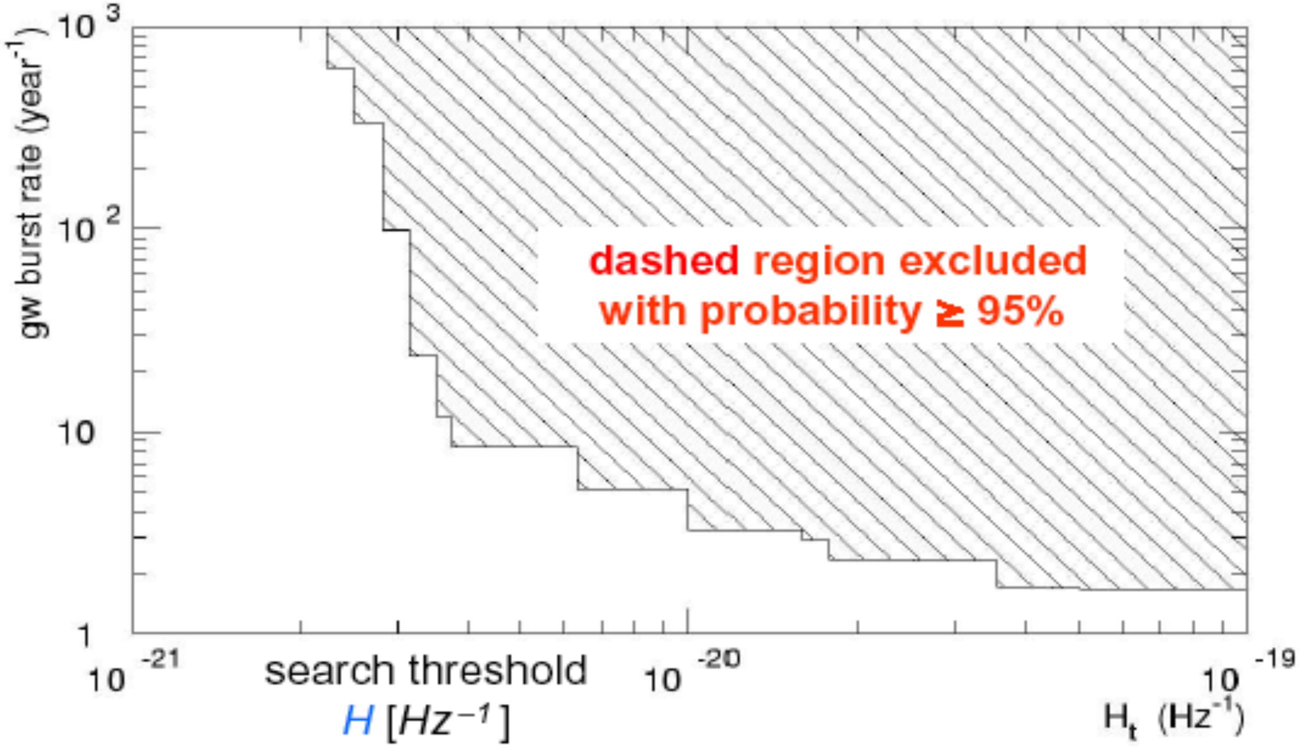
$$h(t) = H \cdot \delta(t - t_0)$$

arrival time

Ricerca di Burst IGEC II

UPPER LIMIT on the RATE of BURST GW
from the GALACTIC CENTER DIRECTION

rate
[*year*$^{-1}$]



dashed region excluded with probability ≥ 95%

search threshold
H [*Hz*$^{-1}$]

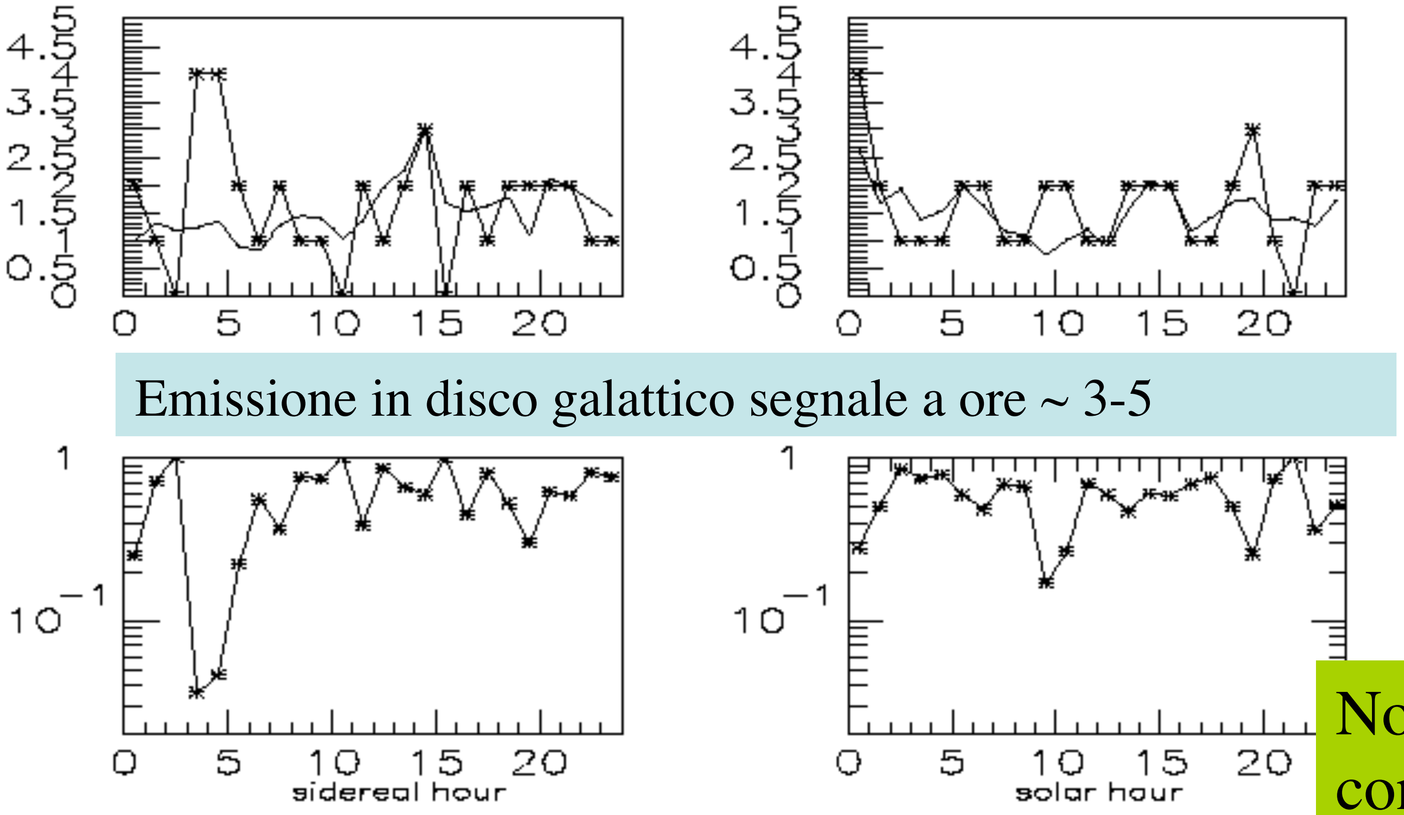
Upper limit for burst GWs with random arrival time and measured amplitude ≥ search threshold

$$H \sim 2\cdot 10^{-21}/Hz \leftrightarrow 0.02\,M_{\odot}\ \textit{converted at Galactic Center}$$

Eccesso da centro Galattico???

in burst nel 2001 da *Explorer Nautilus uniche presenti con sensibilità record*

Ora siderale locale Ora solare



Emissione in disco galattico segnale a ore ~ 3-5

Fig. 7: Result with events in time periods ≥ 1 *hour* of continuous operation. As in fig.5.

Eventi

Probabilita’

Non in contraddizione con IGEC

Statistica limitata

*= eventi linea=casuali

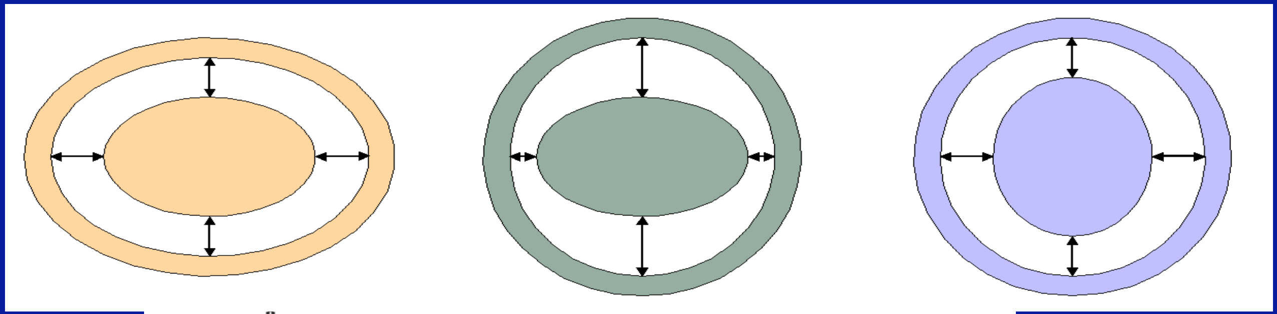
Progetti futuri I dual (Legnaro)

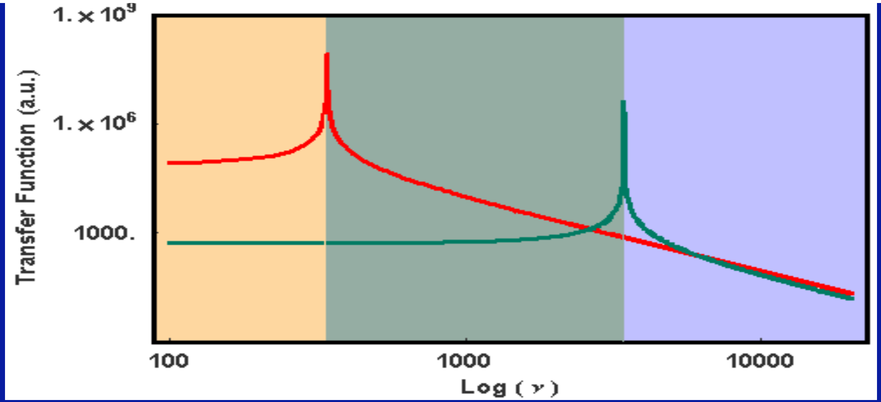
DUAL: wideband high freq gw detector

PRL ***87*** *(2001) 031101* *gr-qc/0302012*

2 nested resonant masses

measure the differential deformation **between** *the lowest quadrupolar modes*





- **gw signals add**
- **back action noises subtract**

Progetti futuri II sfere Olanda e Brasile

Present Spherical Detectors Properties

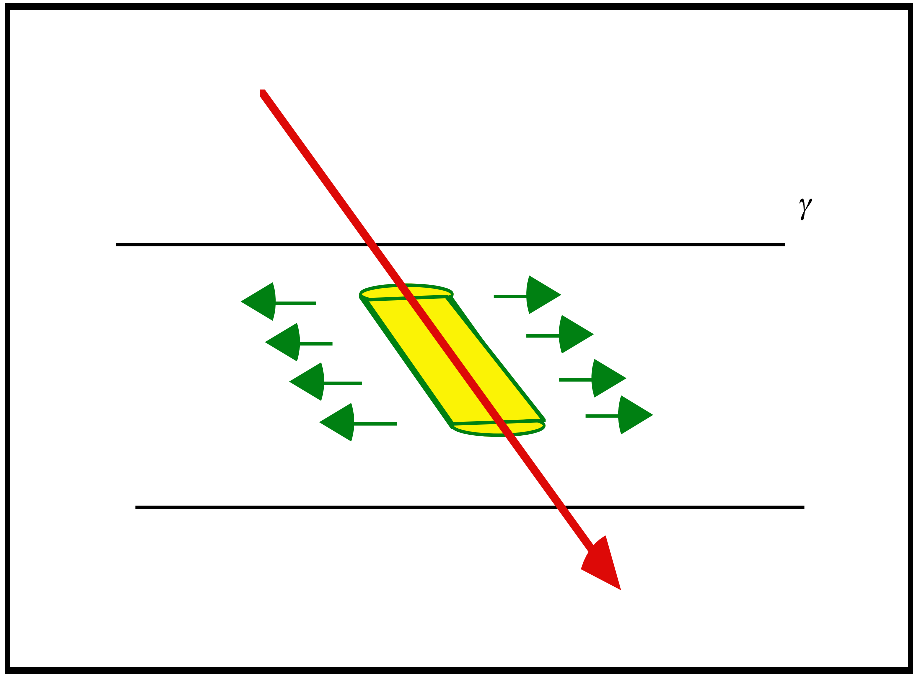
Material	CuAl6%
Density	$\rho = 8000\ \mathrm{kg/m^3}$
Diameter	$\Phi = 0.65\ \mathrm{m}$
Mass	$M = 1150\ \mathrm{kg}$
Sound velocity	$v = 4000\ \mathrm{m/s}$
Resonant freq.	$f = 3160\ \mathrm{Hz}$
Short cool-down time	

Seconda parte

- interazioni particelle con barre risonanti
- raggi cosmici e risultati Nautilus Explorer

Particelle ionizzanti e conversione termo-acustica

Se tutta l'energia persa per ionizzazione è convertita nel riscaldamento locale del mezzo



$$\delta T = \frac{\delta E}{\rho C V_0}$$

$$\delta p = \gamma \frac{\delta E}{V_0} \qquad \gamma = \frac{\alpha Y}{\rho C}$$

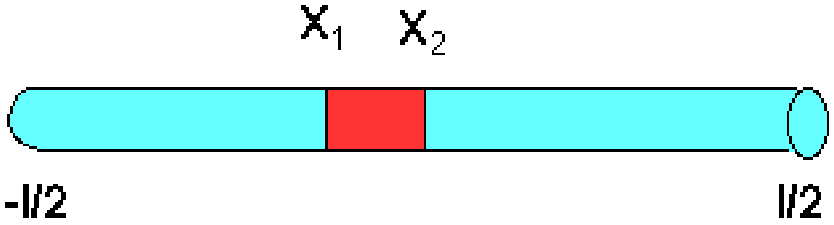
γ è il parametro di Grunesein

Y =modulo di Young, C= calore specifico, α coefficiente espansione termica

Conversione termo- acustica

Energia nel modo n approccio semplificato 1

Se sbarra infinitamente sottile e il deposito di energia e' tra **x_1 e x_2**



Equazione delle Onde

$$\frac{\partial^2 \Phi(x,t)}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 \Phi(x,t)}{\partial x^2}$$

Condizioni al contorno a **-l/2 e l/2**

$$\frac{\partial \ \Phi(x,t)}{\partial x} = 0$$

Soluzione generale:

$$\Phi(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos\left(\frac{2n\pi x}{l}\right)\cos\left(\frac{2n\pi ct}{l}\right) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin\left(\frac{\left(2n+1\right)\right)\pi x}{2l}\right)\cos\left(\frac{\left(2n+1\right)\right)ct}{2l}\right)$$

Conversione termo- acustica

approccio semplificato 2

Condizioni iniziali $x \in [x_1, x_2]$ $\dfrac{\partial\ \Phi(x, t = 0^+)}{\partial x} = \dfrac{\alpha W}{C \rho A (x_1 - x_2)}$

W : energia depositata C calore specifico
A : sezione ρ densità

$$B_0 = \frac{2\alpha W l}{\pi C M} \cos\left(\frac{\pi\left(\frac{x_1 + x_2}{2}\right)}{l} \right) \left(\frac{\sin \pi \frac{x_1 - x_2}{2l}}{\pi \frac{x_1 - x_2}{2l}} \right)$$

Ampiezza modo fondamentale particella singola $x_1 = x_2 = x$

$$B_0 = \frac{2\alpha W l}{\pi C M} \cos\left(\frac{\pi x}{l}\right)$$

Sciame distribuito uniformemente $x_1 = -l/2$ $x_2 = l/2$

$$B_0 = \frac{2\alpha W l}{\pi C M} \frac{1}{\pi}$$

Conversione termo acustica

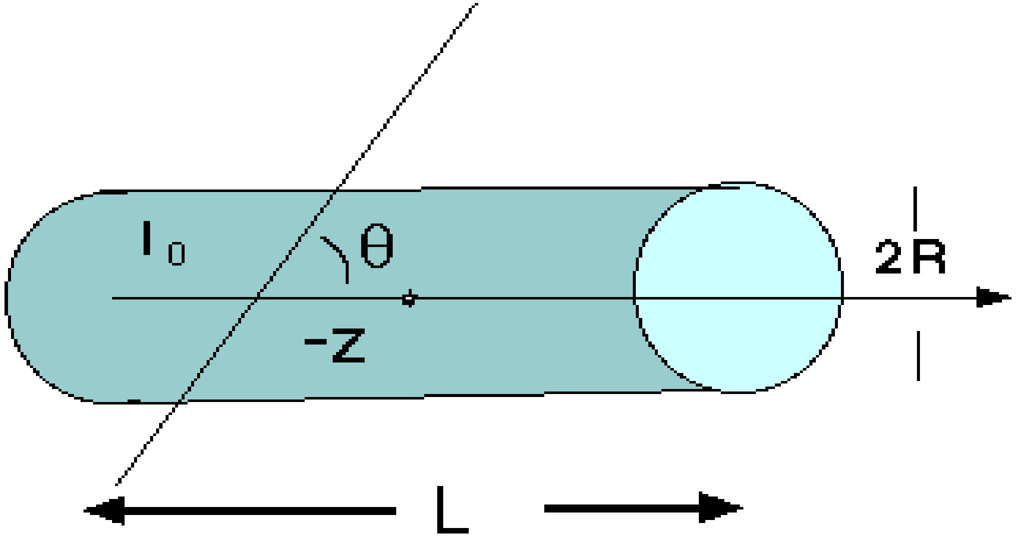
caso generale 3

$$E_n = \frac{1}{2}\frac{l^2}{V}\frac{G_n^2}{\rho v^2}\gamma^2\left(\frac{dE}{dX}\right)^2$$

Allega A.M. & Cabibbo N. Lett Nuovo Cim 38 (1983) 263-
A. De Rujula & B. Lautrup, Nucl Phys. B242 (1984) 93-144

G_n fattore di forma del cilindro e al primo ordine in R/L
(Barish-Liu Phys Rev Lett 61 1988)

$$T_{eff} = 2.75*10^{-9}\left(\frac{dE}{dX}\right)^2\left(\sin\left(\frac{\pi z}{L}\right)\frac{\sin\left(\frac{\pi l_0\cos\theta}{2L}\right)}{\frac{\pi R\cos\theta}{L}}\right)$$



Verificata per tracce non assiali
e ordini maggiori in R/L

Il parametro di Gruneisen nei superconduttori 1

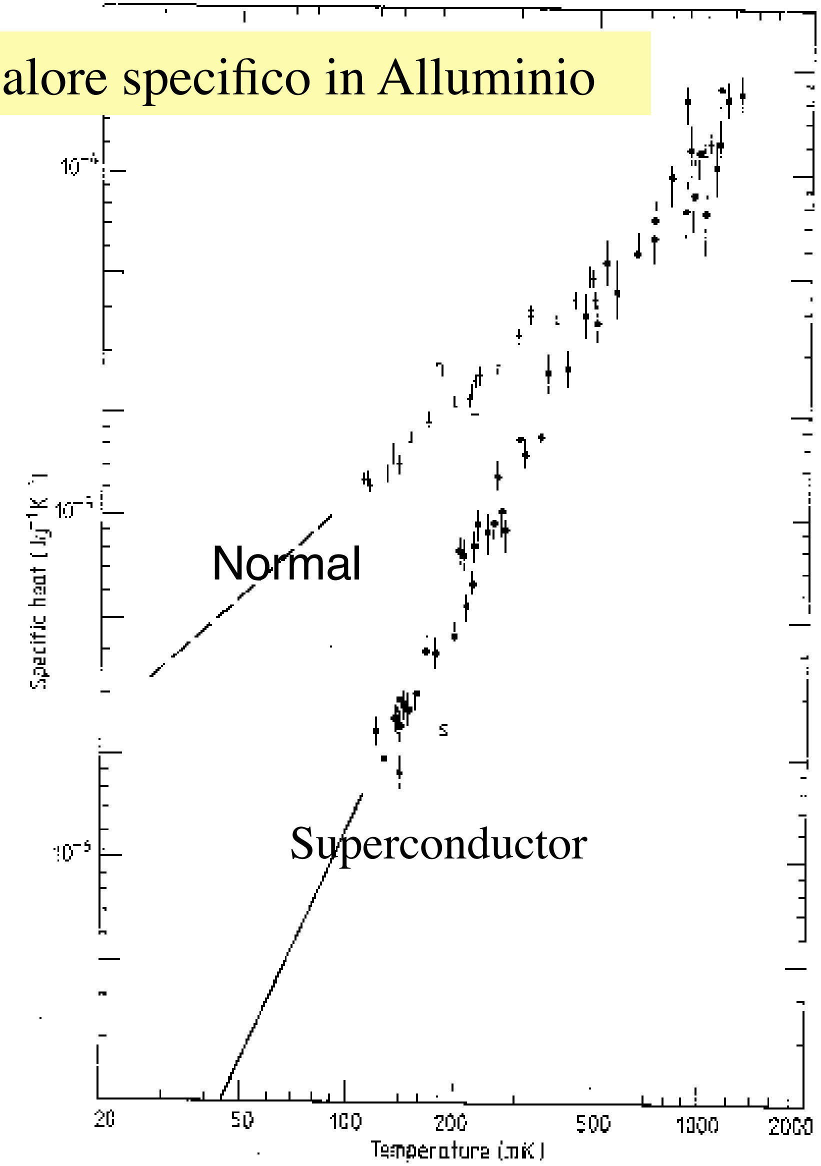
$$\gamma = \frac{\alpha Y}{\rho C}$$

Nell' energia libera di un metallo alle basse temperature e' rilevante il contributo degli elettroni di conduzione. In particolare, sono allora prevedibili differenze tra stati normale (n) e superconduttivo (s) in relazione a volumi, coeffcienti di espansione termica e calori specifici. Queste variazioni sono esprimibili attraverso relazioni termodinamiche che coinvolgono la dipendenza del campo critico Hc dalla pressione e dalla temperatura.

Non esistono misure dirette di γ in Al superconduttori

Calore Specifico==> 0

Calore specifico in Alluminio

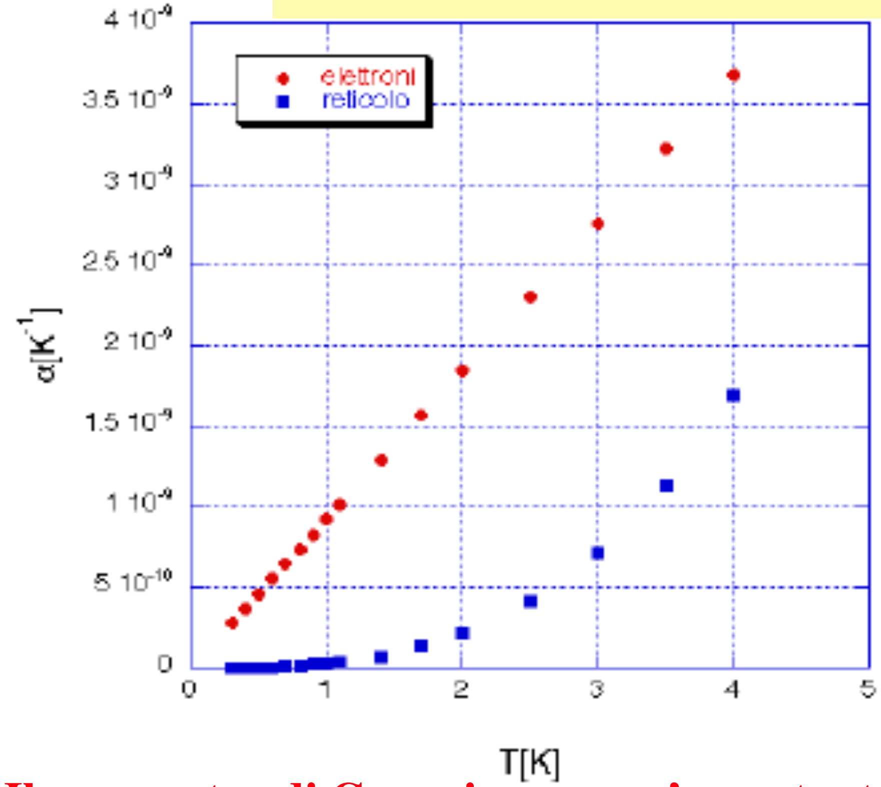


Il parametro di Gruneisen nei superconduttori 2

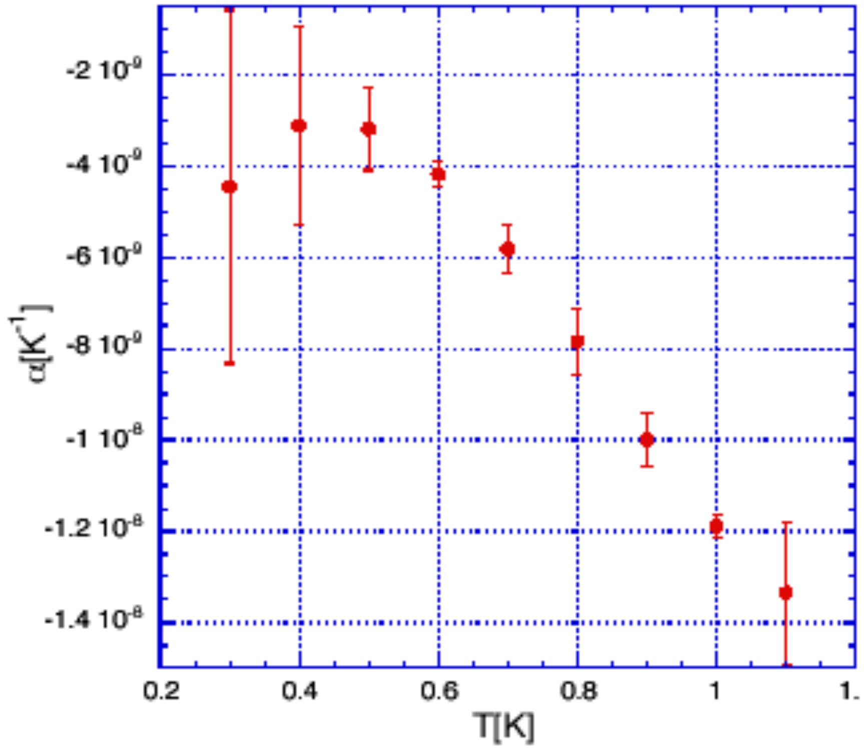
$$\gamma = \frac{\alpha Y}{\rho C}$$

Coefficiente di dilatazione termica, calcolato nel caso superconduttore a partire da misure di Hc

Stato normale



Stato superconduttore

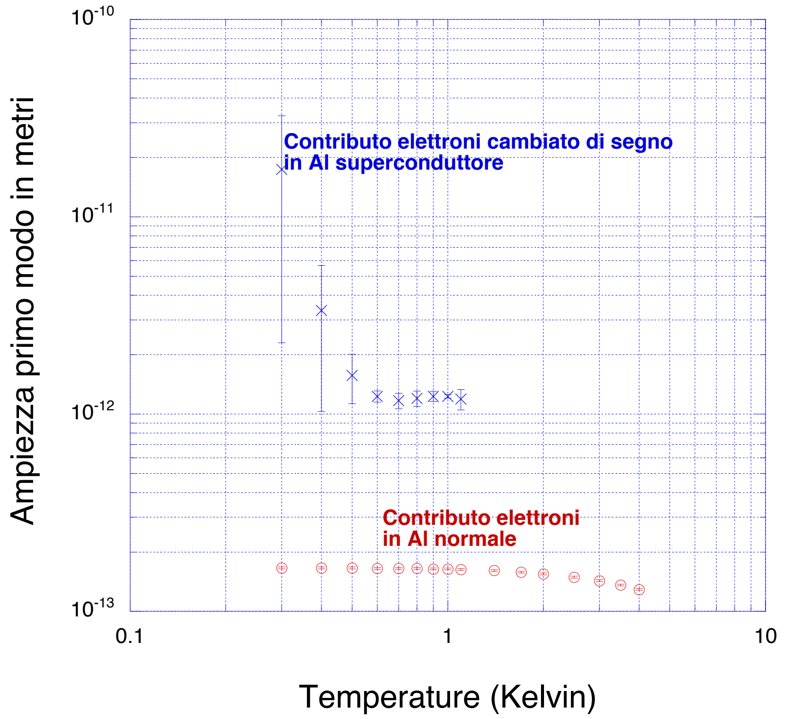


Il parametro di Gruneisen non e' ~ costante ma dipende dallo stato superconduttore/non superconduttore

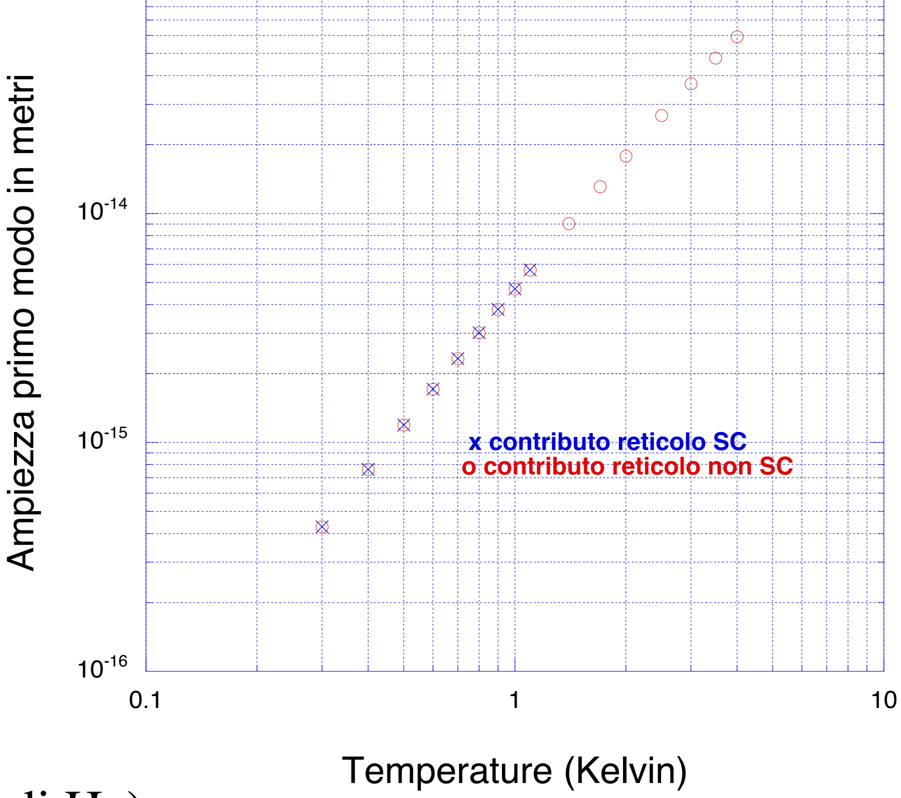
La risposta al primo modo risonante di una barra di alluminio

d=18.1 cm L=50 cm E=1mJ

Il contributo degli elettroni, notare il segno diverso nei due stati



Il contributo del reticolo(molto più piccolo di quello elettronico)



Ricavato in maniera indiretta (misure di Hc)

Eccitazione

Come superconduttore o non superconduttore?

- a T=0.3 K risposta notevolmente diversa nei due stati
- ~ due ordine di grandezza di differenza, segno diverso

- ma normalmente si assume che ci sia una transizione da superconduttore a non superconduttore==>> uso dei valori nello stato normale
- energia di legame delle coppie di Cooper 0.34 m eV

Il fenomeno della rottura delle coppie di Cooper è stato osservato sperimentalmente ed usato in alcuni rivelatori a microstrip di materiale superconduttore, transizione a stato normale causa improvviso aumento resistenza, che genera un impulso

Inoltre granuli superconduttori per rivelazione neutrini…

Antenne a barre come rivelatori di particelle esotiche, esempio nucleariti

I normali rivelatori di particelle ionizzanti non funzionano a bassi valori di beta

The principal energy-loss mechanism for a nucleari passing through matter is via atomic collisions. Accor ing to Refs. [2–4] when a nuclearite of mass m and veloc ty βc goes through an aluminum body, the rate of energ loss is

$$\frac{dE}{dx}=480\,\frac{\text{GeV}}{\text{cm}}\left[\frac{\beta\theta(m)}{10^{-3}}\right]^2 ,$$

where the mass dependence is

$$\theta(m)=1 \quad \text{if } m \le 1.5\ \text{ng} ,$$

$$\theta(m)=\left[\frac{m}{1.5\ \text{ng}}\right]^{1/3} \quad \text{if } m \ge 1.5\ \text{ng} .$$

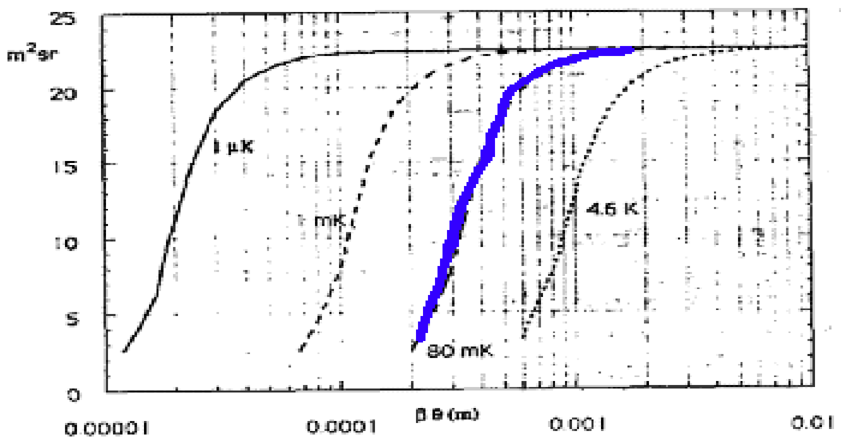


FIG. 2. Acceptance of the gravitational wave detector at the energy thresholds $\Delta T=1\ \mu$K, 1 mK, 0.08 K, and 4.6 K. The vertical axis has to be divided by 2 if $m<0.1$ g (nuclearites that cannot penetrate the Earth).

Explorer 1993 PRD 47 4770

Misure dirette su fascio di particelle 1

Fino ad ora in genere a temperatura ambiente

Lavoro pioneristico:

Beron Hofstander piezoelettrico su fascio di elettroni (Ph.Rev.Let. 23 184 (1969)

Il modello temoacustico e’ stato fino ad ora verificato in 4 esperimenti a temperatura ambiente

1)Grassi Strini Tagliaferri (J. Appl Phys 51 1980) **elettroni e protoni**

2)Jona Oberski et al (Nikehf, Rev Sci Instr 2000)

ampiezza misurata	**7.4 ±1.4(nm/J)**
ampiezza teorica	**10.0**

3)Bressi Carugno Conti Onofrio : no signal

4) Esperimento RAP rivelazione acustica di particelle (vedi seguito..)

Misure dirette su fascio di particelle 2

Esperimento di NIKHEF (Olanda)

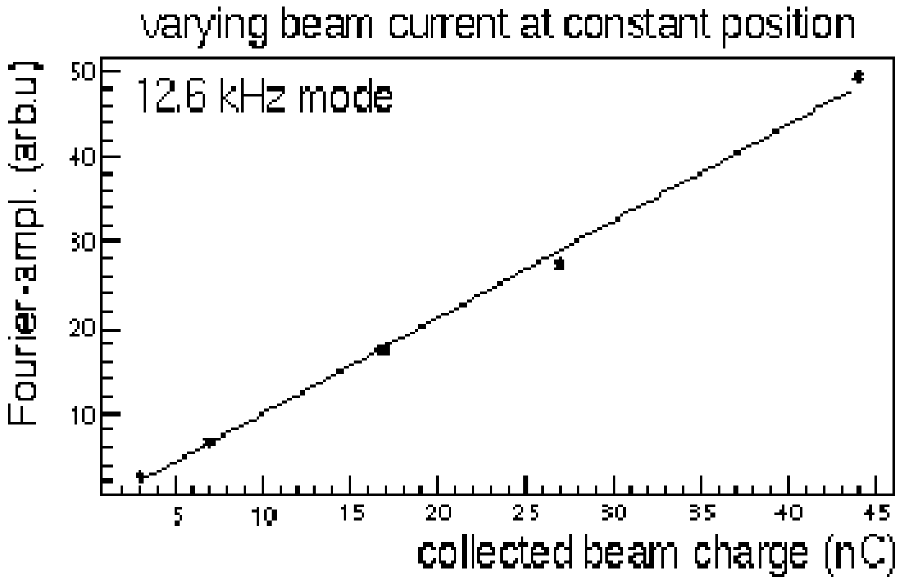


Figure 7: Correlation between the Fourier amplitude of the 12.6 kHz vibrational mode and the beam charge. Data points (*) and straight line fit.

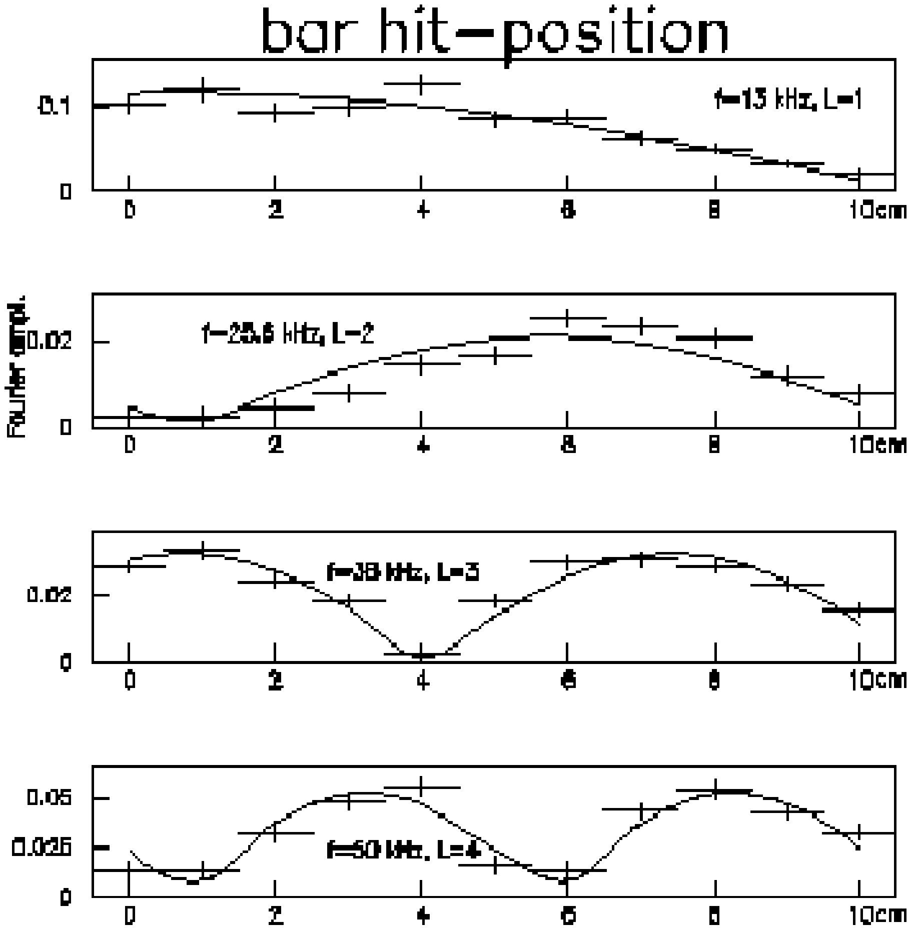


Figure 8: The measured, unnormalised Fourier amplitudes (+) and model calculations (–) as a function of the beam hit position along the cylinder axis for the four lowest longitudinal modes of bar BC.

Misure su fasci di elettroni anni 70

parametro di Gruneisen solo onda di pressione

Gauster 1.3 mJ elettroni 1.5 MeV

4 LOW-TEMPERATURE GRÜNEISEN PARAMETERS...

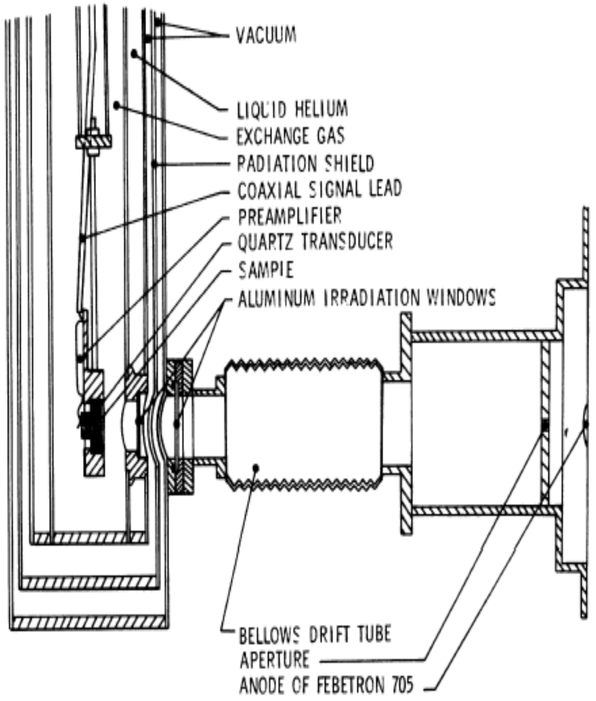

VACUUM
LIQUID HELIUM
EXCHANGE GAS
RADIATION SHIELD
COAXIAL SIGNAL LEAD
PREAMPLIFIER
QUARTZ TRANSDUCER
SAMPLE
ALUMINUM IRRADIATION WINDOWS
BELLOWS DRIFT TUBE
APERTURE
ANODE OF FEBETRON 705

FIG. 1. Experimental arrangem

1292 W. B. GAUSTER 4

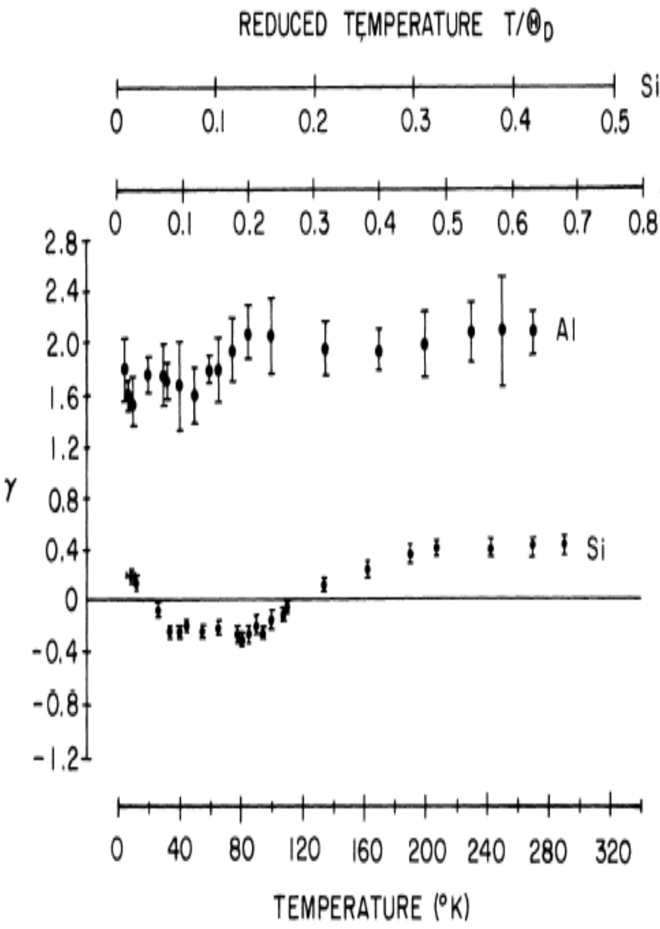
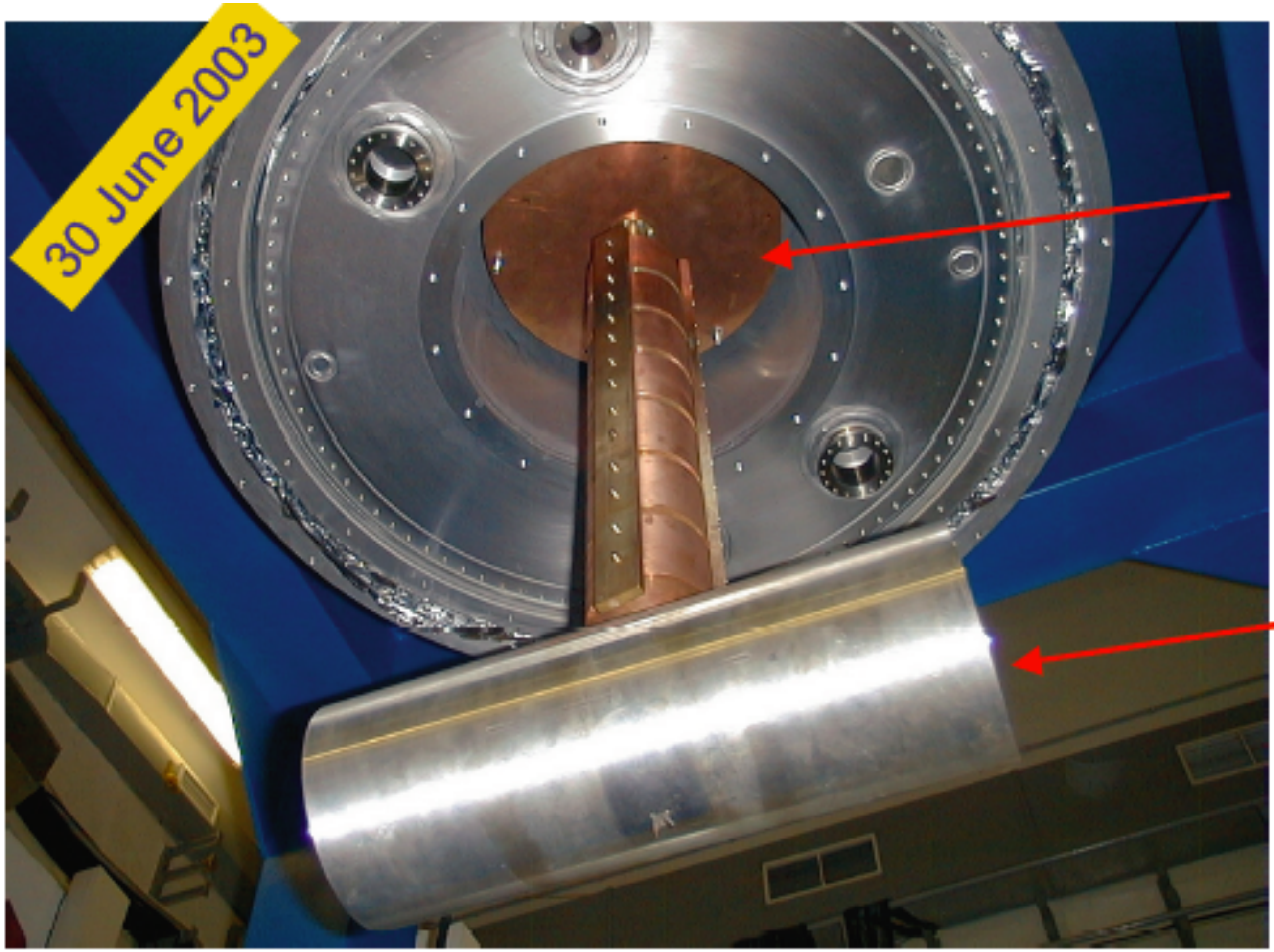


FIG. 2. Grüneisen parameters of silicon and aluminum as functions of sample temperature, determined from measurements of inertial thermoelastic stresses.

Misure dirette su fascio di particelle 3

RAP rivelazione acustica particelle a linac iniettore di DAFNE

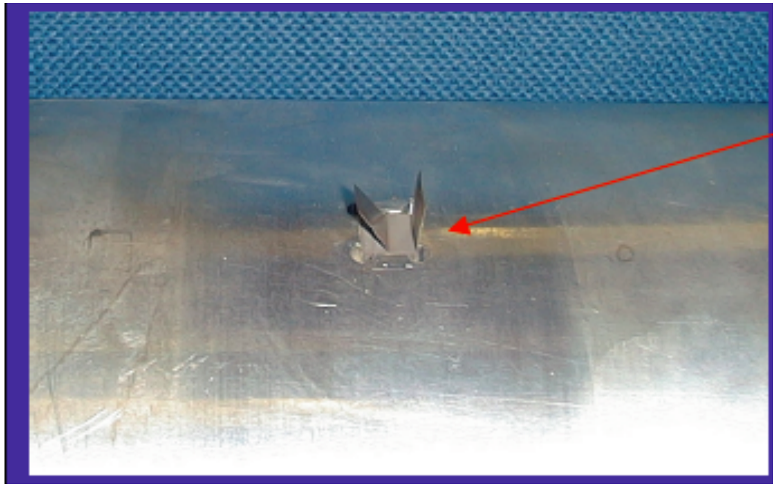


Suspension:
7 OFHC copper masses
1 OFHC copper tube
Attenuation: –200db@ 5KHz

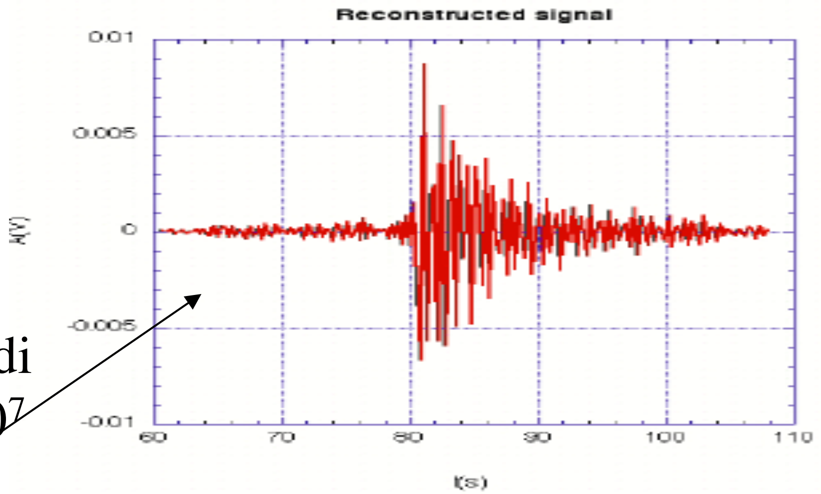
Test mass:
Al 5056 bar,
L=50 cm Φ =18 cm
M=35.17 kg
f_{1L} = 5096 Hz at room temp.

Misure dirette su fascio di particelle 3

RAP rivelazione acustica particelle a linac iniettore di DAFNE



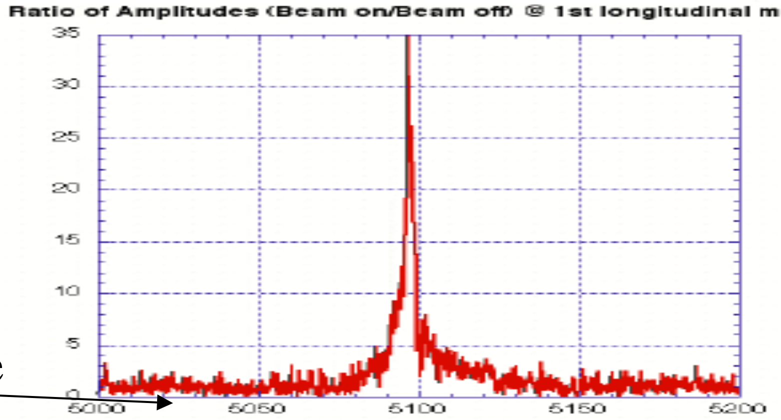
Segnale rivelato con due piezoelettrici incastrati al centro



Segnale emesso con un impulso di fascio di energia depositata E=1.74 mJoules ($9.4\ 10^7$ elettroni con E iniziale 510 MeV)

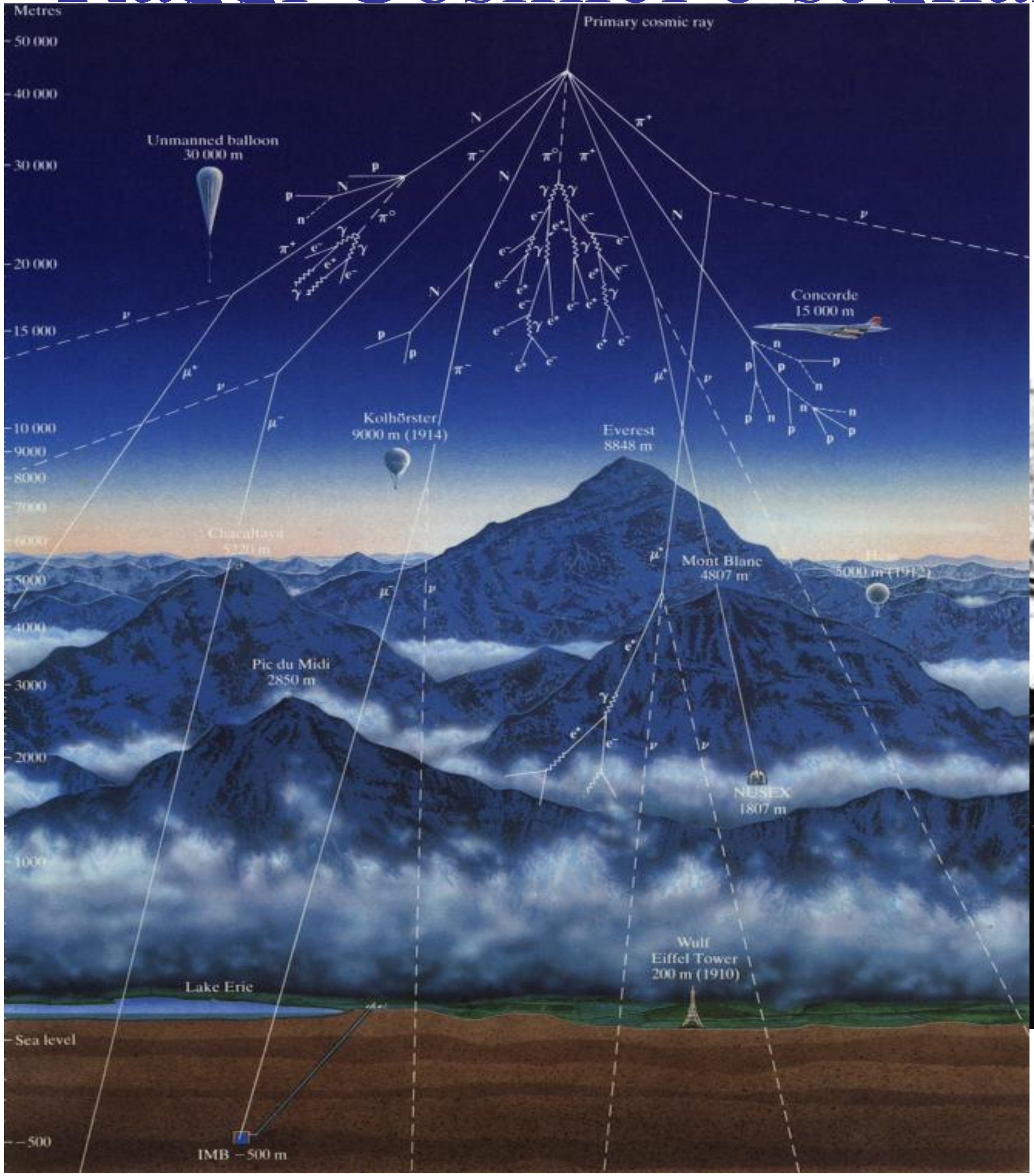
Preliminare: Ampiezza prevista $4.1\ 10^{-13}$ metri

Misurata ~ 70% ±30% della prevista errore maggiore corrente del fascio



Rapporto Segnale/rumore in funzione della frequenza

Raggi Cosmici e segnali sulle antenne


Metres
50 000
40 000
30 000
20 000
15 000
10 000
9000
8000
7000
6000
5000
4000
3000
2000
1000
Sea level
−500
Primary cosmic ray
Unmanned balloon
30 000 m
Concorde
15 000 m
Kolhörster
9000 m (1914)
Everest
8848 m
Chacaltaya
5220 m
Mont Blanc
4807 m
5000 m (1912)
Pic du Midi
2850 m
NUSEX
1807 m
Wulf
Eiffel Tower
200 m (1910)
Lake Erie
IMB −500 m
N
p
n
π^+
π^-
π^0
γ
e^+
e^-
μ^+
μ^-
ν

Origine, in parte, ancora misteriosa nonostante 100 anni dalla scoperta

Hesse 1912

Hesse dedusse che i raggi comici venivano dallo spazio (anche se per motivi parzialmente errati)

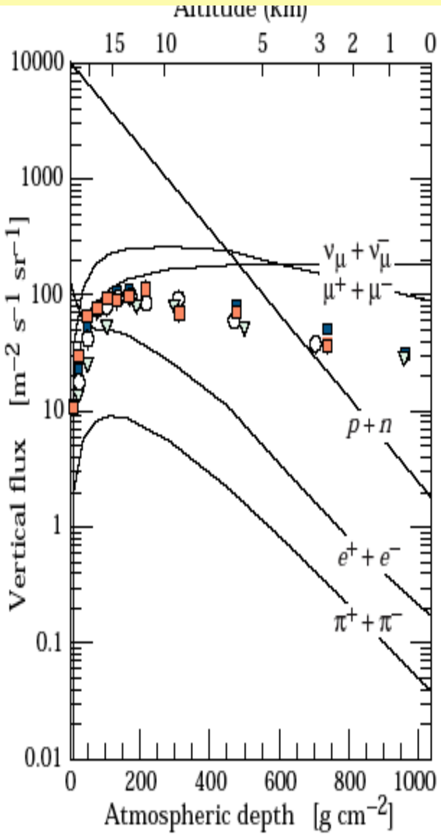
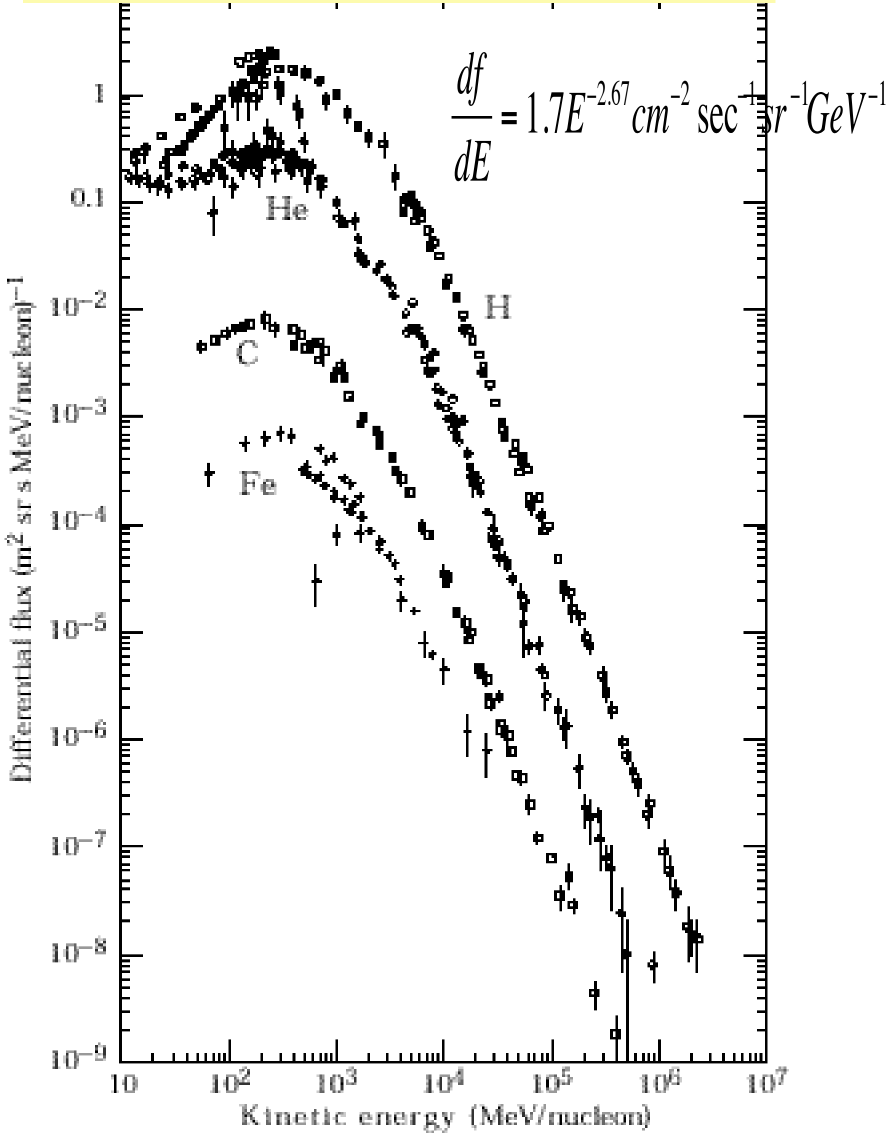


Figure 23.3: Vertical fluxes of cosmic rays in the atmosphere with $E > 1$ GeV estimated from the nucleon flux of Eq. (23.2). The points show measurements of negative muons with $E_\mu > 1$ GeV [4,19,20,21].

Composizione a bassa energia : simile a materiale sistema solare



$$\frac{df}{dE} = 1.7E^{-2.67} cm^{-2} \sec^{-1} sr^{-1} GeV^{-1}$$

Raggi Cosmici al livello del mare

Indice spettrale risente di quello dei primari

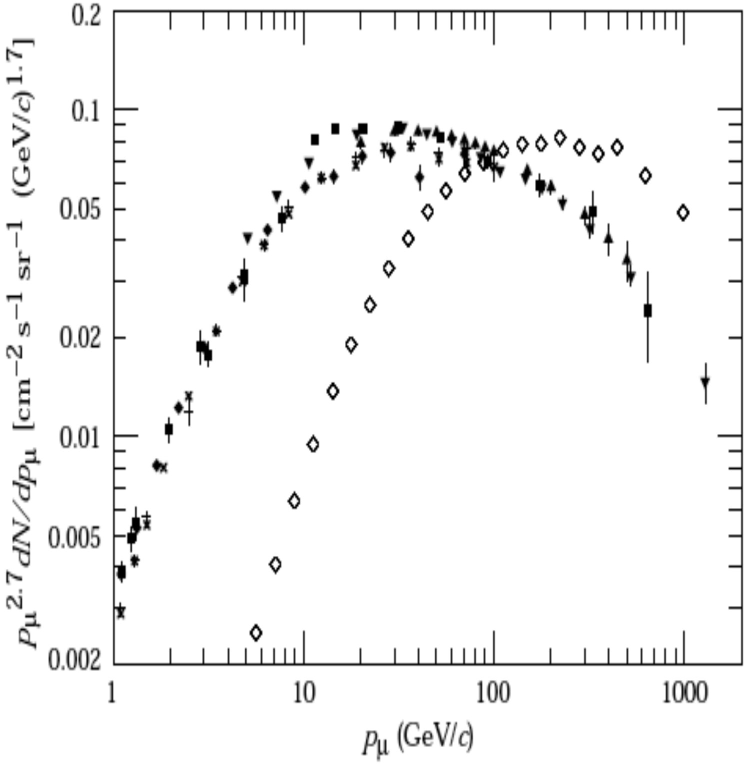


Figure 23.4: Spectrum of muons at $\theta = 0°$ (♦ [24], ■ [29], ▾ [30], ▲ [31], + [26], and $\theta = 75°$ ◊ [32]).

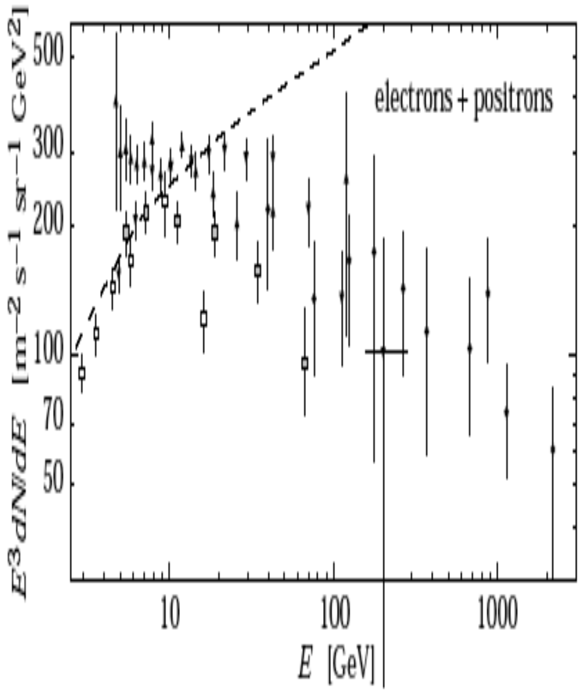


Figure 23.2: Differential spectrum of electrons plus positrons multiplied by E^3 (data summary from Ref. 8). The dashed line shows the proton spectrum multiplied by 0.01.

Raggi Cosmici: il ginocchio

A circa 10^{15} eV brusco cambiamento della pendenza.

Non spiegato

Probabilmente associato a cambiamento meccanismo di produzione e o cambiamento composizione

La maggior parte dei cosmici visti nelle antenne viene dalla regione del **ginocchio**

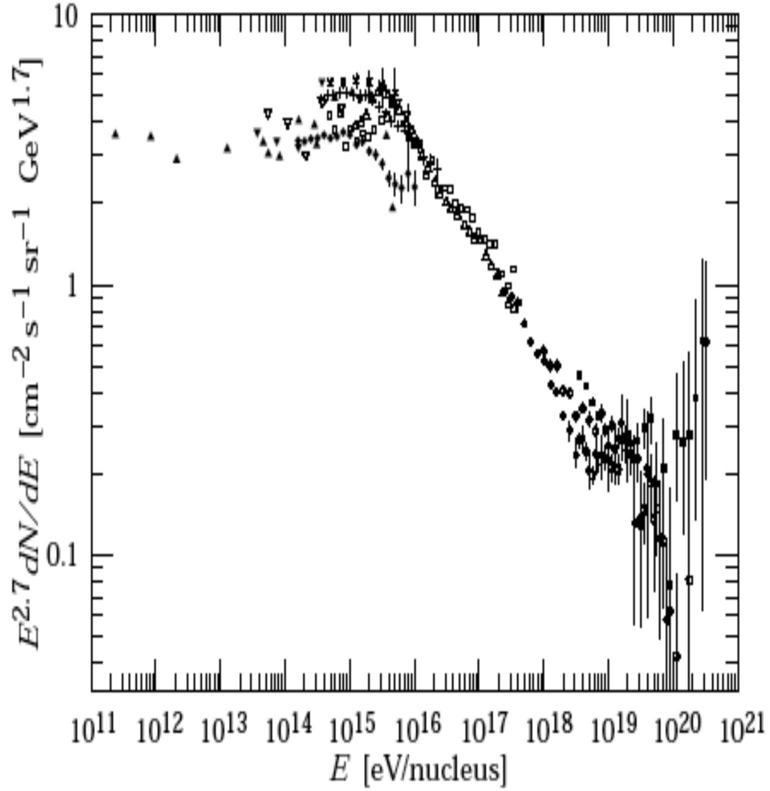


Figure 23.9: The all-particle spectrum: □ [58], ▲ [62], ▼ [63], ▽ [64], △ [65], + [66], × [67], ⧫ [68]. References for the high energy portion of the spectrum are given in Fig. 23.10.

Raggi cosmici frequenza di eventi rivelabili nelle antenne

- le tre componenti (muoni, adroni, EAS) arrivano insieme; ma per semplicità calcolo fatto fino ad ora separando le componenti
- il massimo **flusso di energia** è al centro dello sciame vicino alla direzione del primario originale
- grande **incertezza** nel calcolo particolarmente per gli eventi aventi elevate densità di particelle

Calcoli

E Amaldi G Pizzella Nuovo Cimento 9C 1986 *(analytic)*
F Ricci NIM A 260 491 (1991) *(Montecarlo -muons)*
J. Chiang et al (Stanford group) NIM A 311 (1992)
(MC muons - single hadrons)
E. Coccia et al (Nautilus group) NIM A 355 (1995)
(MC muons -single hadrons, multi-hadrons, EAS)
Nautilus group 2001 Corsika+Geant

Calcolo numero eventi atteso

1) **Muoni** montecarlo usando parametrizzazione di DARR (Phys Rev Lett 51 (1983) per la distribuzione in energia/angolo)

2) **Sciami**: calcolo semplificato basato su

a) perdita energia 2.2 MeV/gr/cm^2 come per elettroni da 100MeV (~E critica) in Al
b) numero di particelle non cambia sostanzialmente quando lo sciame attraversa la barra (il numero dovrebbe aumentare leggermente perché Ecritica in Al minore che in aria
c) distribuzione della densità di particelle al m^2 descritta da formula di Cocconi (N$_0$ particelle/m^2/sec)

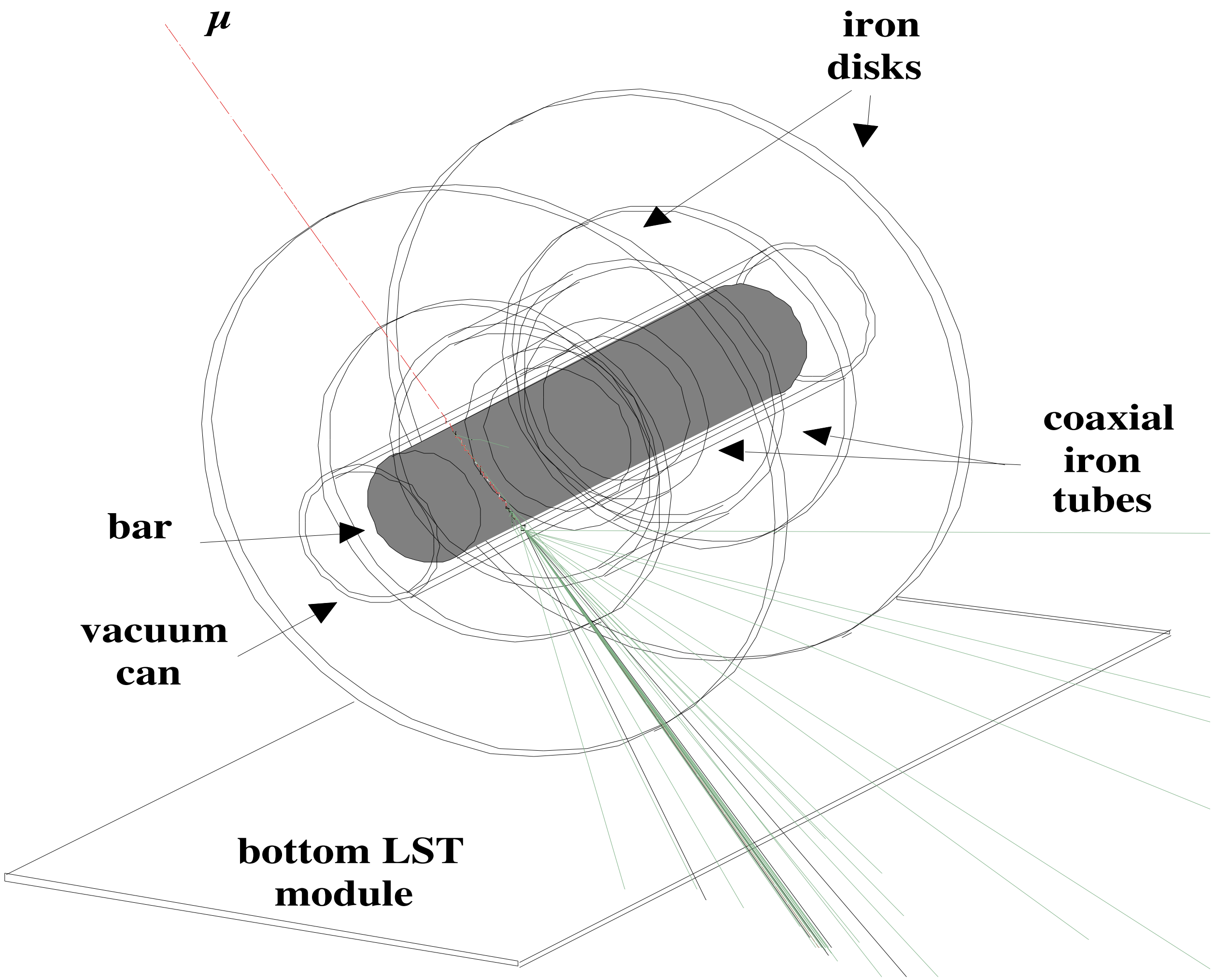
$$f(N > N_0) = 0.41 N_0^{-1.32-0.038 Log(N_0)}$$

Grande **incertezza sugli sciami**; Montecarlo completo in corso

3) **Adroni** simulazione con Corsica e Geant usando composizione leggera e confronto con misure dirette esperimento Cascade

Raggi cosmici simulazione

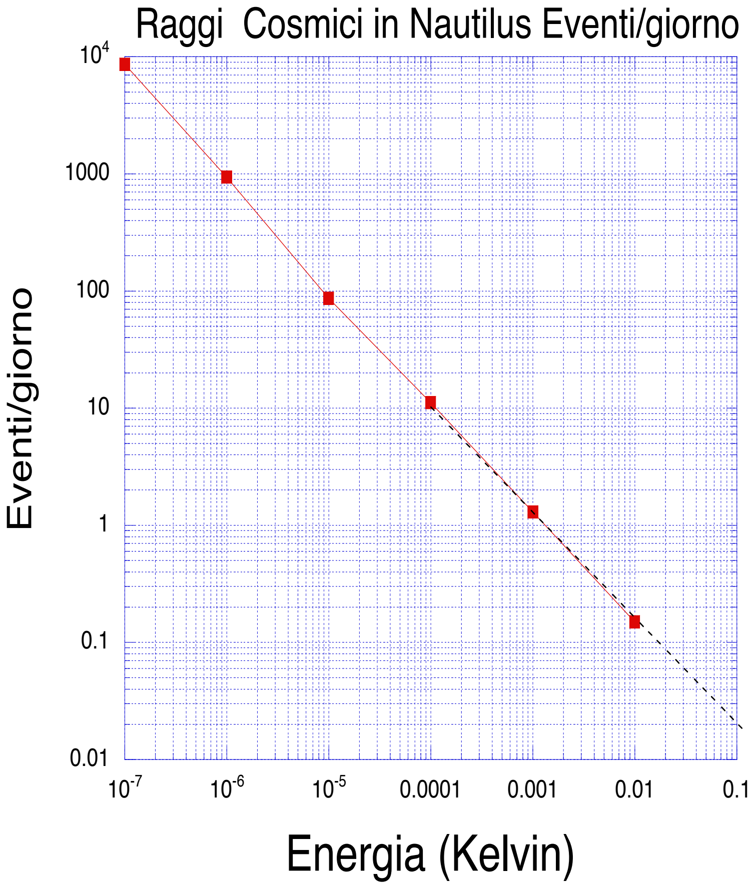
Simulazione con il codice Geant con la descrizione dei materiali attorno all'antenna


μ
iron disks
coaxial iron tubes
bar
vacuum can
bottom LST module

Cosmic ray:

rates in the bar (events/day)

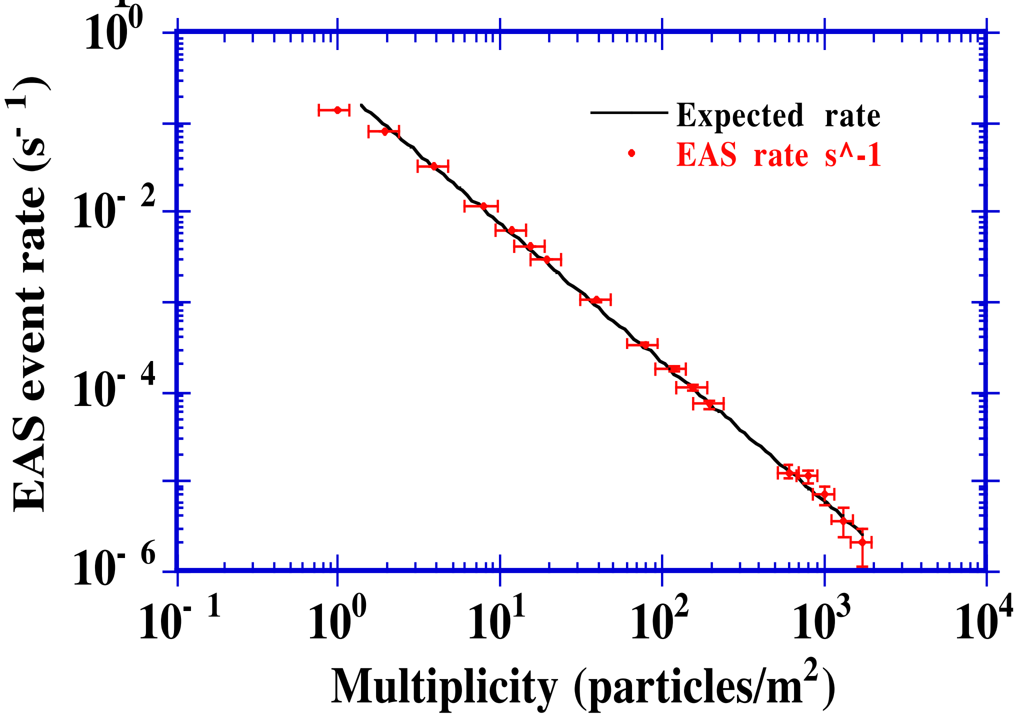
E (K)	Muon	EAS	Hadro.	Total
10^{-7}	1540	1890	-	8630
10^{-6}	155	323	-	941
10^{-5}	12.7	50	24.2	87
10^{-4}	1.2	7	3.0	11.2
10^{-3}	0.18	0.8	0.33	1.3
10^{-2}	0.002	0.1	0.05	0.15



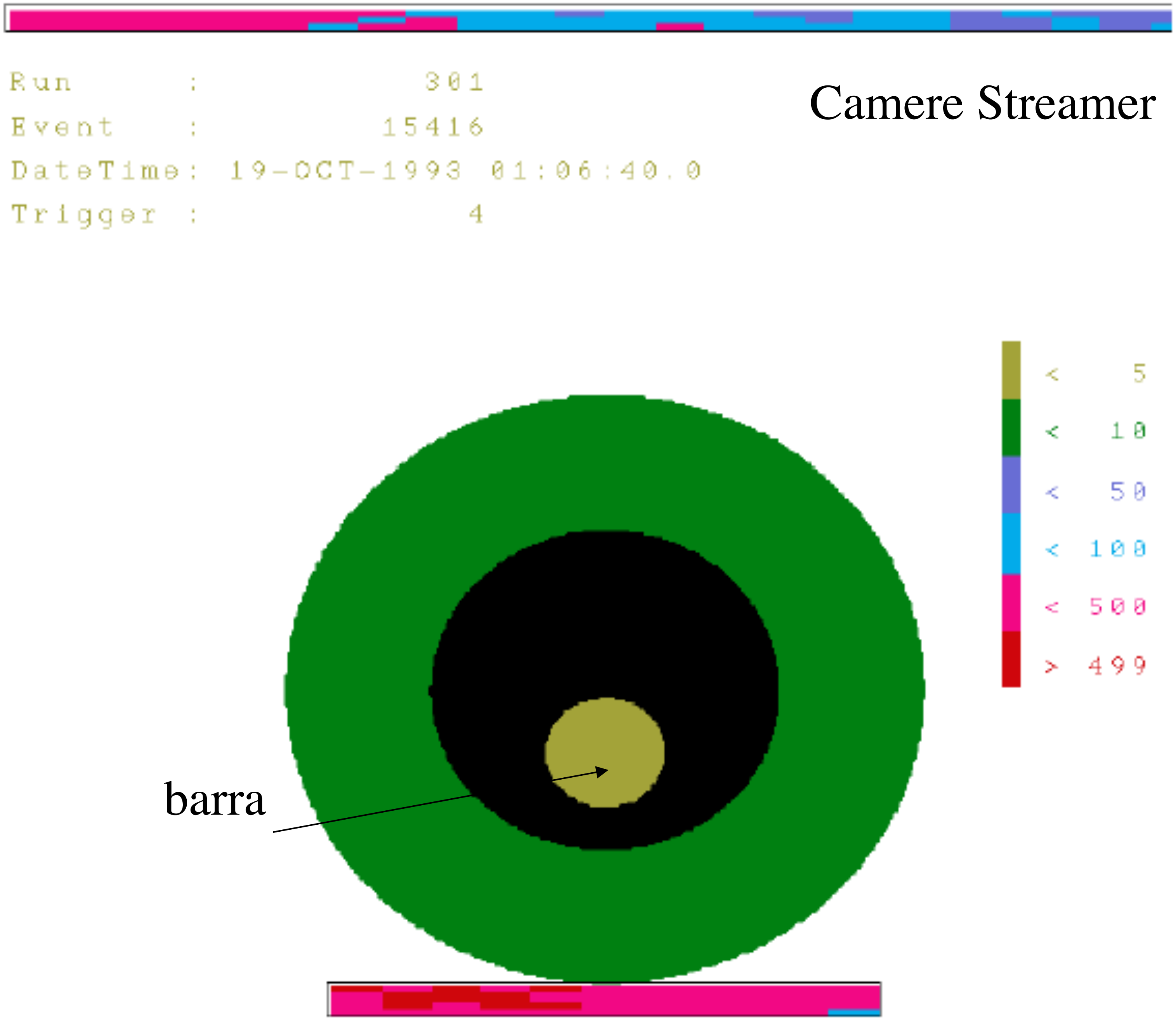
Limite quantistico < 10^{-7} K

Il rivelatore di raggi cosmici di NAUTILUS (1993)

- 116 camere 8 tubi streamer (regime di scarica limitata) da 600x3x3 cm^2 3 strati sopra 4 strati sotto
- lettura analogica della carica==>> numero di particelle
- saturazione a circa 500 particelle per camera da 1.44 m^2
- 15 canali ADC attenuati 1/10 per aumentare la dinamica



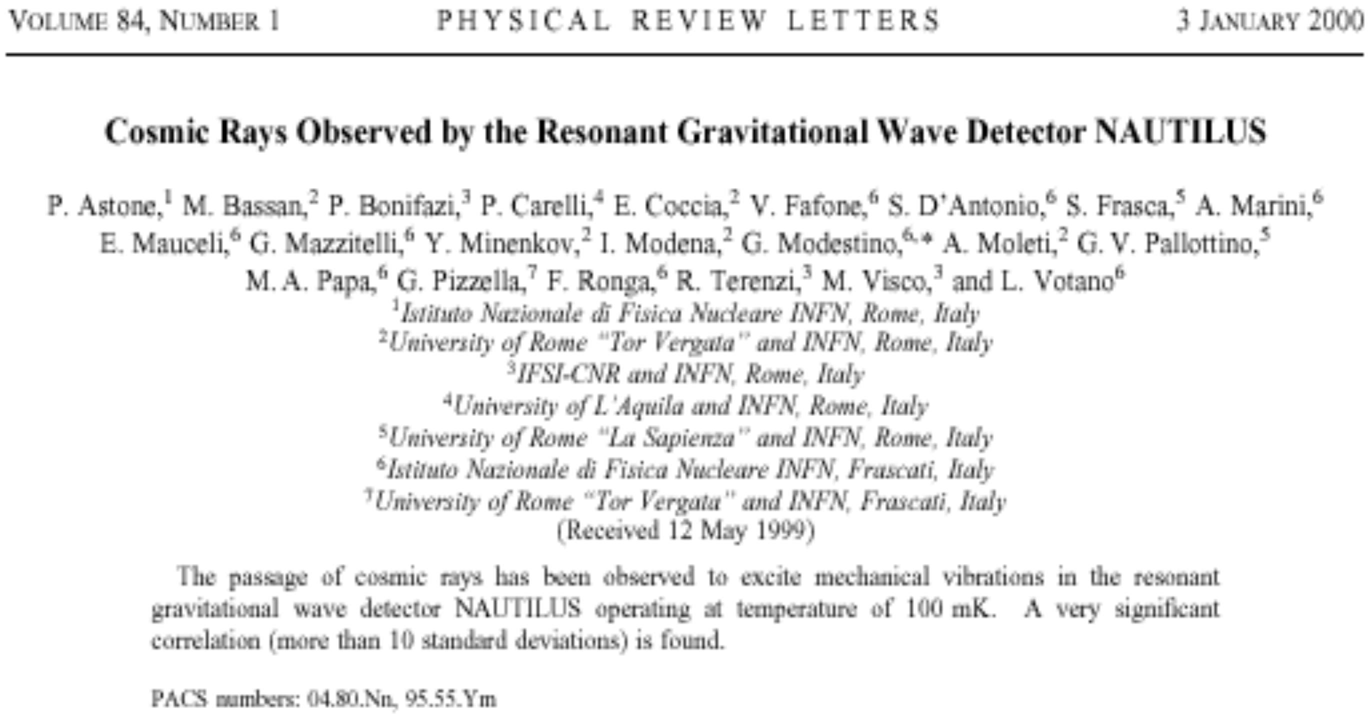
Camere Streamer



Run : 301
Event : 15416
DateTime: 19-OCT-1993 01:06:40.0
Trigger : 4

1998 primi cosmici visti in NAUTILUS

- miglioramento sensibilità di NAUTILUS
- tecnica di analisi “cumulativa” a zero soglia



VOLUME 84, NUMBER 1 PHYSICAL REVIEW LETTERS 3 JANUARY 2000

Cosmic Rays Observed by the Resonant Gravitational Wave Detector NAUTILUS

P. Astone,[1] M. Bassan,[2] P. Bonifazi,[3] P. Carelli,[4] E. Coccia,[2] V. Fafone,[6] S. D'Antonio,[6] S. Frasca,[5] A. Marini,[6]
E. Mauceli,[6] G. Mazzitelli,[6] Y. Minenkov,[2] I. Modena,[2] G. Modestino,[6,*] A. Moleti,[2] G. V. Pallottino,[5]
M. A. Papa,[6] G. Pizzella,[7] F. Ronga,[6] R. Terenzi,[3] M. Visco,[3] and L. Votano[6]
[1]*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare INFN, Rome, Italy*
[2]*University of Rome "Tor Vergata" and INFN, Rome, Italy*
[3]*IFSI-CNR and INFN, Rome, Italy*
[4]*University of L'Aquila and INFN, Rome, Italy*
[5]*University of Rome "La Sapienza" and INFN, Rome, Italy*
[6]*Istituto Nazionale di Fisica Nucleare INFN, Frascati, Italy*
[7]*University of Rome "Tor Vergata" and INFN, Frascati, Italy*

(Received 12 May 1999)

The passage of cosmic rays has been observed to excite mechanical vibrations in the resonant gravitational wave detector NAUTILUS operating at temperature of 100 mK. A very significant correlation (more than 10 standard deviations) is found.

PACS numbers: 04.80.Nn, 95.55.Ym

Ricerca segnali senza soglia

Selezione degli eventi ad **alta densità** (>600 particelle/m^2)

Somma dei segnali dell'antenna prendendo i tempi rispetto al tempo d'arrivo dello sciame cosmico (uscita del filtro "matched" a 220 Hz)

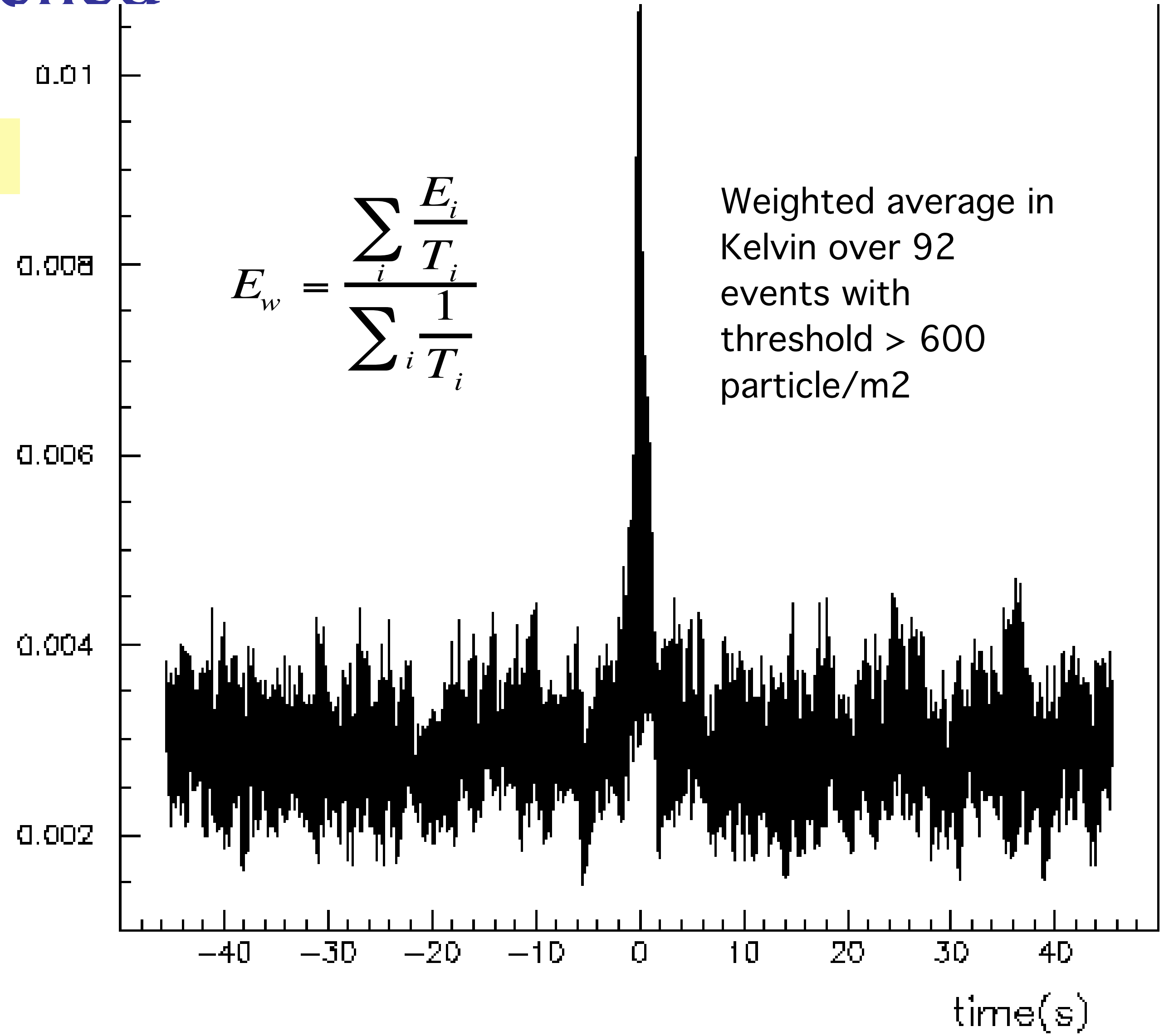
- Per segnali molto piccoli questo metodo è più sensibile di quello basato sulla ricerca di coincidenze
- questa tecnica fu proposta **a priori prima di guardare i dati**
- tecnica usata anche in altre analisi (ad esempio gamma-burst)

Ricerca segnali senza soglia

filtro matched

Ti= T noise <5m Kelvin

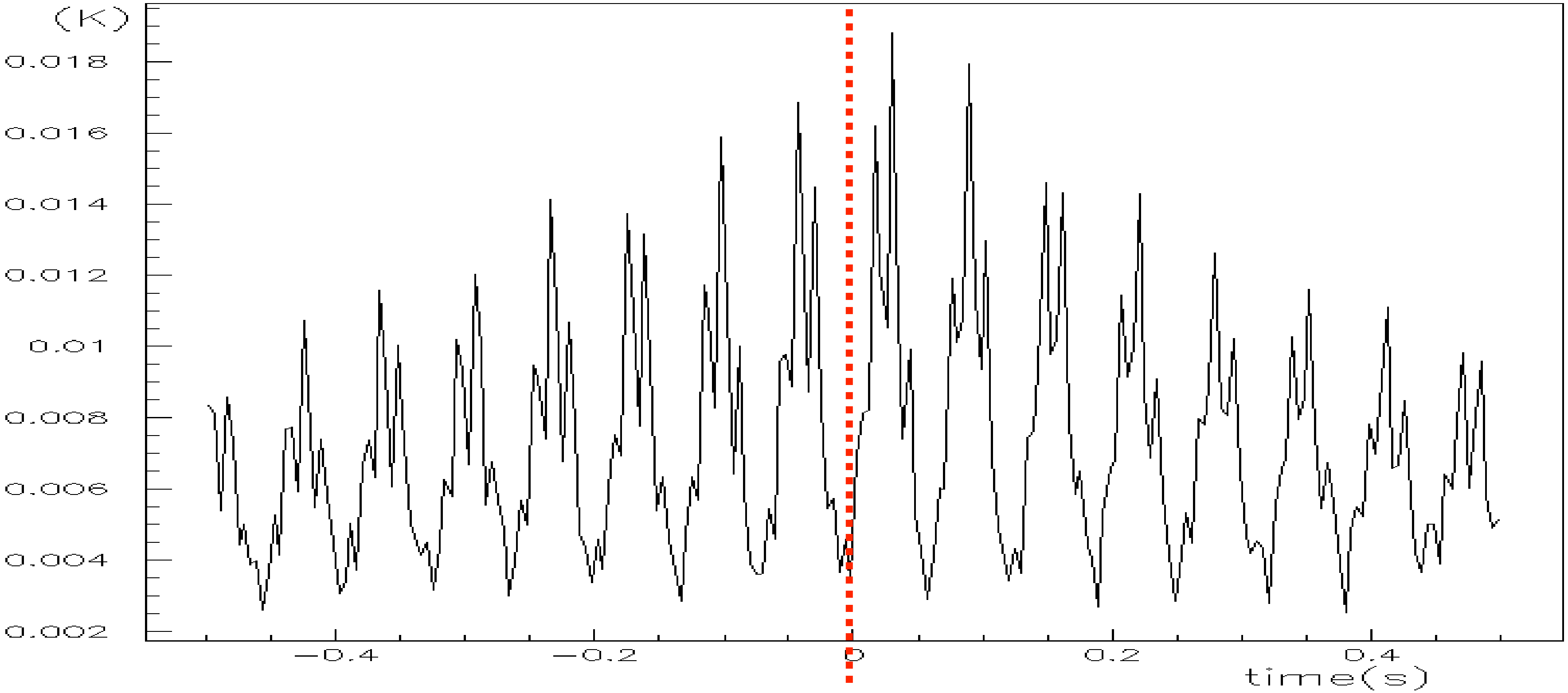
Risultati simili con altri filtri ma segnale meno evidente



$$E_w = \frac{\sum_i \frac{E_i}{T_i}}{\sum_i \frac{1}{T_i}}$$

Weighted average in Kelvin over 92 events with threshold > 600 particle/m2

Zoom del segnale



Periodicità in accordo con battimento due frequenze di risonanza (64 msec)

Tempo del massimo spostato rispetto allo zero di ~20 msec entro l'incertezza temporale

$$E(t) = E_0 e^{-2\beta_3 t}$$

Forma segnale in accordo con attesa Δf~(0.24,0.30)

$$\beta_3 = \pi \Delta f$$

Δf~0.27

Segnale vero o artefatto?

Segnale sul trasduttore?

Il trasduttore aveva S~140cm^2 e una gap di 50 μ (1998) ora 10μ. E~10^6 volt/metro. In presenza di gas buon rivelatore di particelle. Ma è sotto vuoto!

Segnale sullo Squid?

Squid su un fascio di particelle sono stati provati su fasci di elettroni/protoni da 50-280 MeV PSI (Muhfelder,Carelli et al) .

Segnali sono visibili per N>10^3 protoni/mm^2/sec.

Squid area ~ 1 mm^2. Sciami da 1000 part/m^2==>>10^{-3} part/mm^2 non dovrebbero dare segnale

Segnale vero o artefatto?

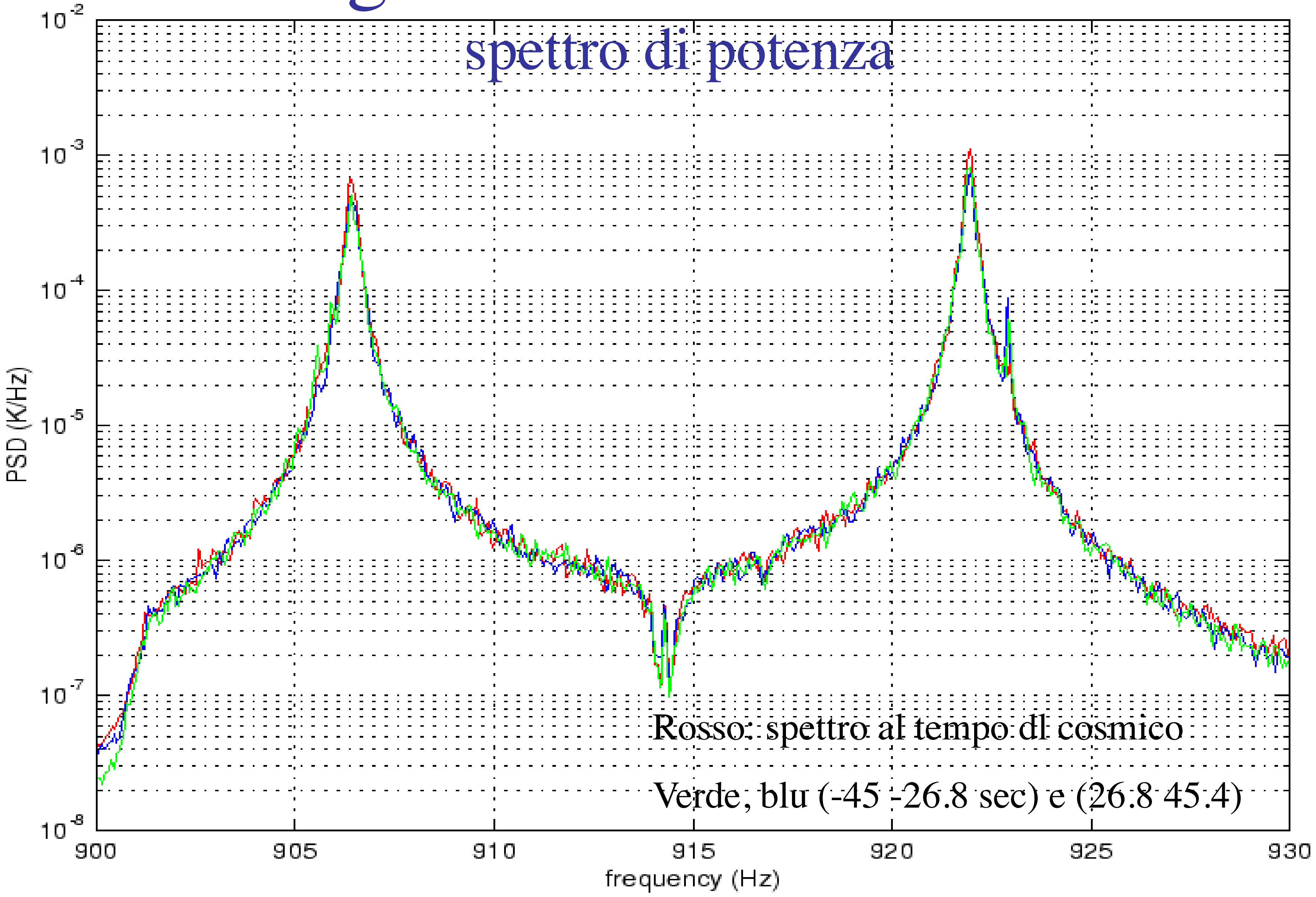
Disturbo elettrico prodotto dagli streamer

Tipico segnale 50mVolt su 50 ohm per 100 nsec.

Per 10000 particelle e 7 strati E=35 10^{-8} Joules, molto più piccolo di altri possibili disturbi elettrici (lampade, pompe, alimentatori ecc)
Prove con scariche candela auto E=1 Joule. **Nessun segnale!**

Se segnale spurio nel trasduttore o nel circuito elettrico i segnali filtrati dovrebbero essere **“anticipati”** rispetto al cosmico

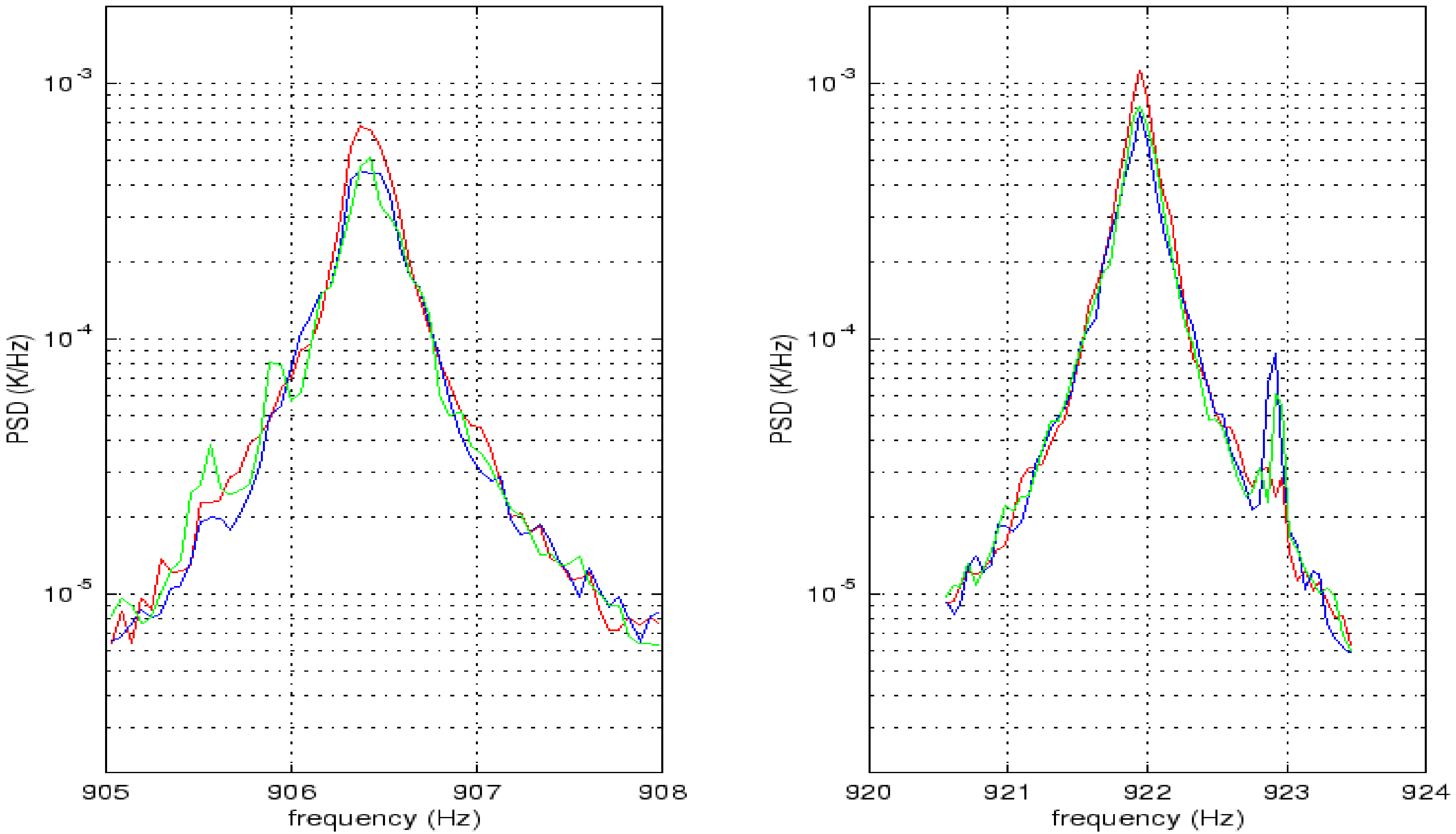
Segnale vero o artefatto?



Rosso: spettro al tempo dl cosmico

Verde, blu (-45 -26.8 sec) e (26.8 45.4)

Segnale vero o artefatto spettri di potenza zoom



Il segnale è genuino!!

- eccitazione dei soli picchi di risonanza **meccanica** (nessun segnale fuori dai picchi)

- nei dati dal 2000 in poi con acquisizione a 5 KHz e GPS il **tempo** è esattamente quello previsto. Nessun anticipo che potrebbe indicare un segnale sul trasduttore o sul circuito elettrico

Gli eventi inattesi!

- nel primo lavoro con la scoperta dell’effetto dei raggi cosmici non ci si era accorti della presenza di alcuni **eventi di energia** molto grande

in particolare c’era un evento da **58 Kelvin ==>> 87TeV**

omesso dalla prima analisi a causa del taglio sulla temperatura di rumore, che includeva il tempo dell’evento

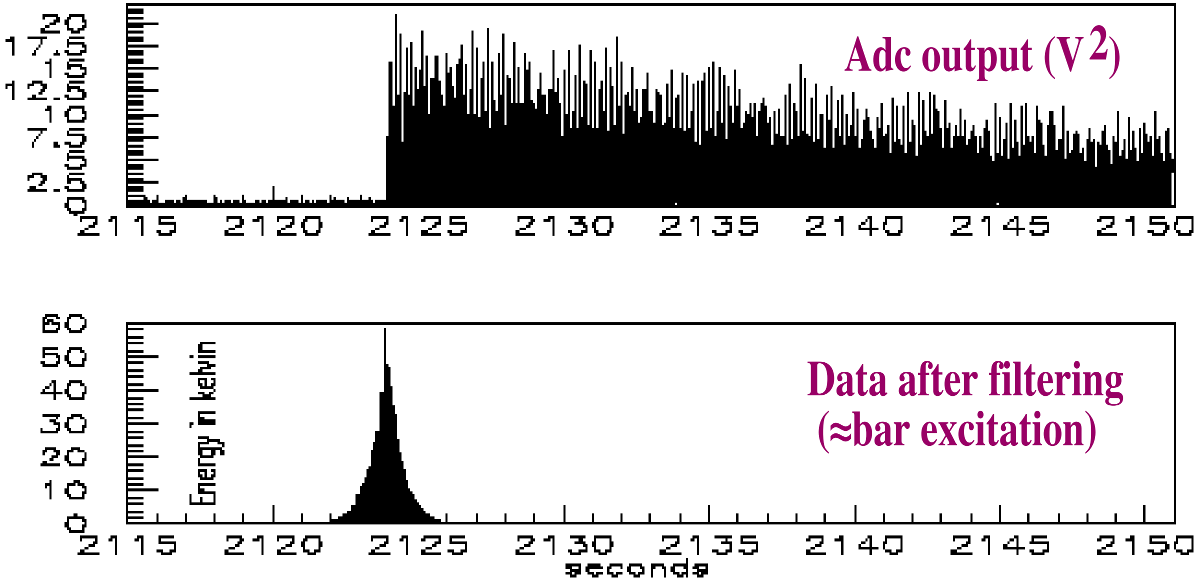
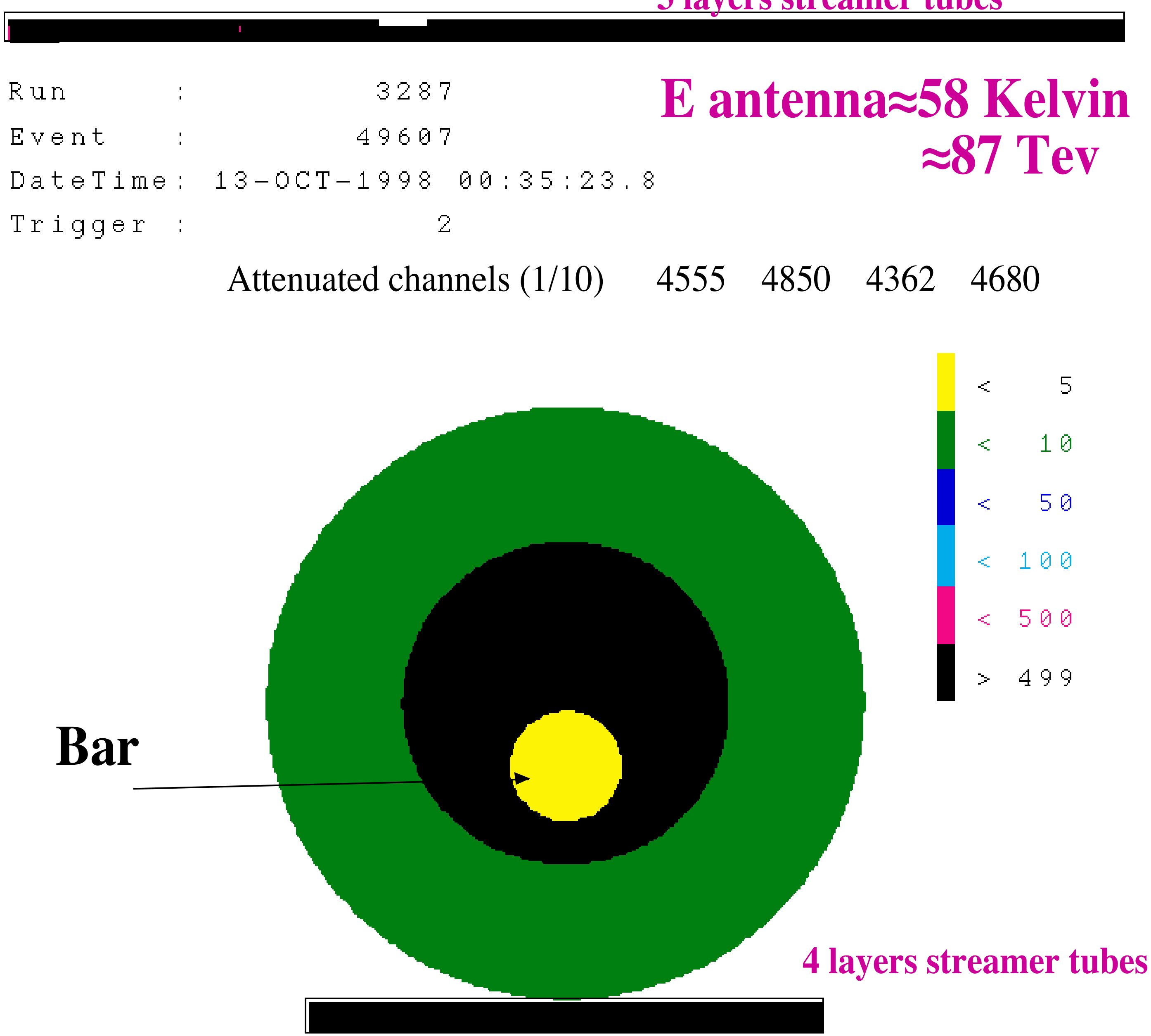


Figure 4: Time behavior of the largest NAUTILUS event in coincidence with an extensive air shower detected by the cosmic ray detector. The particle density in the extensive air shower is 3500 $particles/m^2$. In the upper figure we show the NAUTILUS signal (volt squared) before optimum filtering versus the UT time expressed in seconds, from the preceding midnight. From the decay we evaluate the merit factor of the apparatus, Q=1.7 105. The lower plot shows the data after filtering, in units of kelvin.



3 layers streamer tubes

```
Run       :          3287
Event     :         49607
DateTime: 13-OCT-1998 00:35:23.8
Trigger :               2
```

E antenna≈58 Kelvin ≈87 Tev

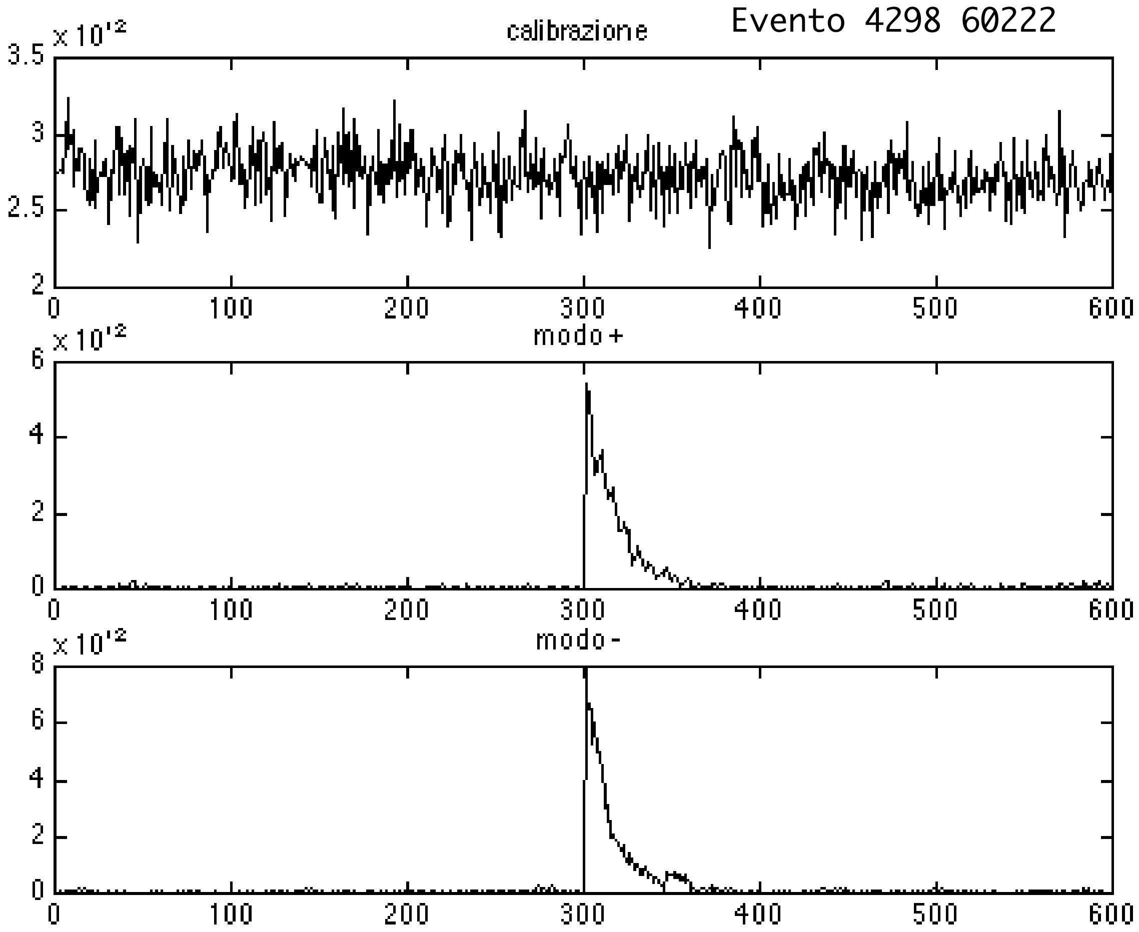
Attenuated channels (1/10) 4555 4850 4362 4680

4 layers streamer tubes

Attenuated channels (1/10) 6625 6340 6507 6225 6315 6252 6237 4357

> ≈ 60000 particles in the lower detector

Gli eventi inattesi nel 2000 orologio GPS (200μsec)

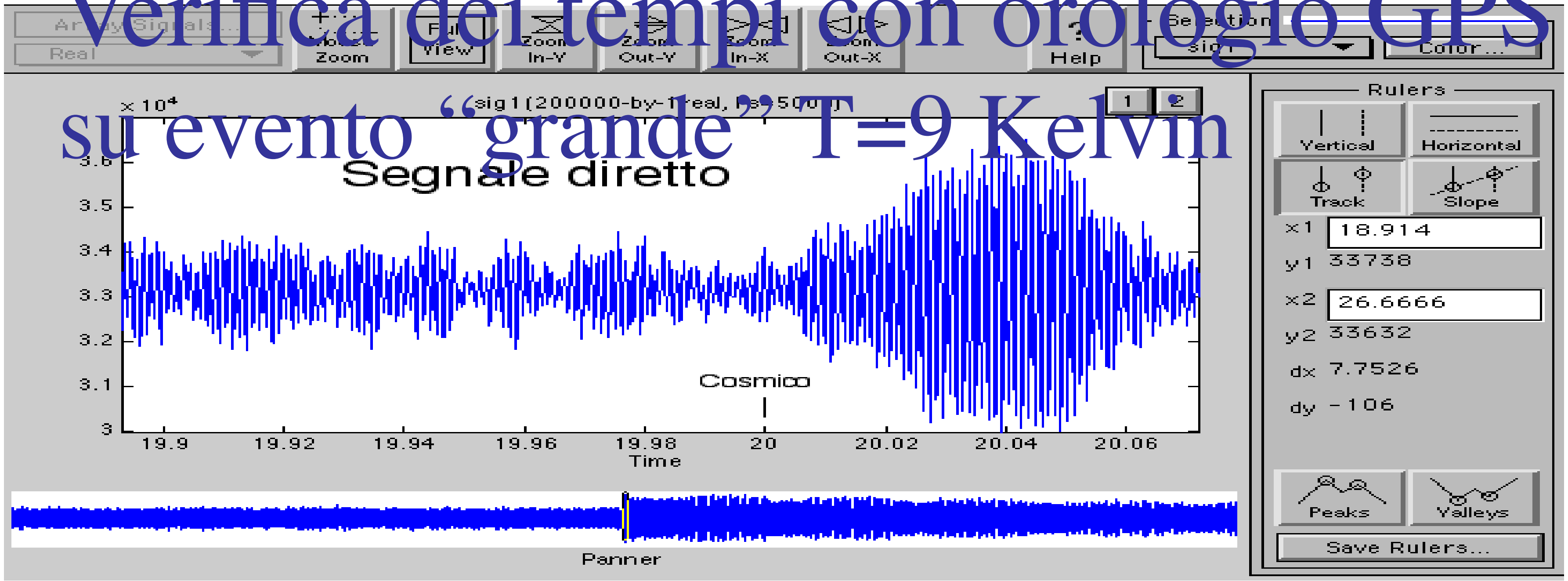


Time (seconds). The cosmic ray is at T=300 sec

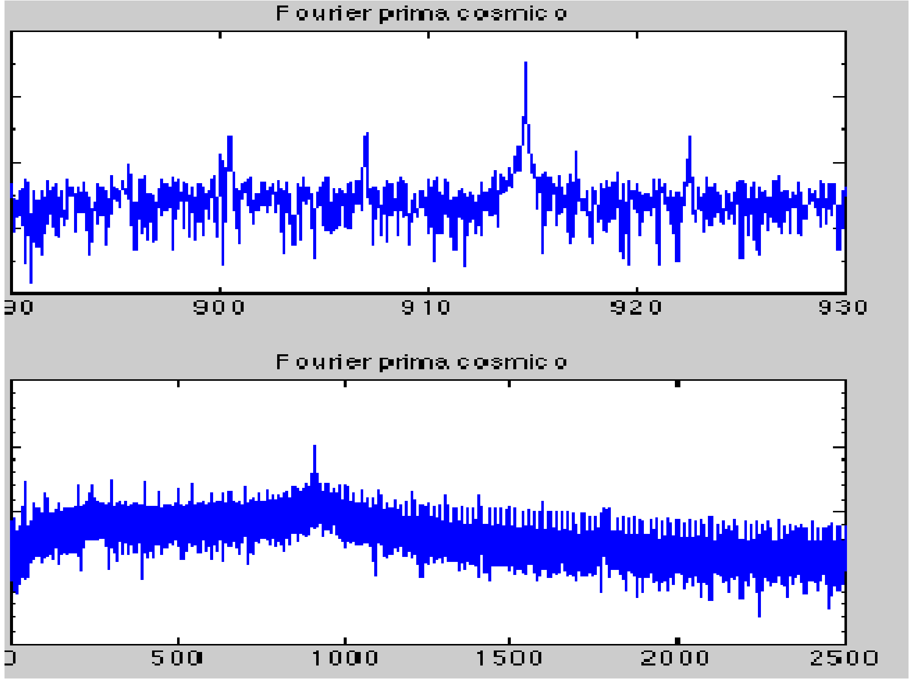
Evento chiaro anche guardando solo i dati raw senza filtri

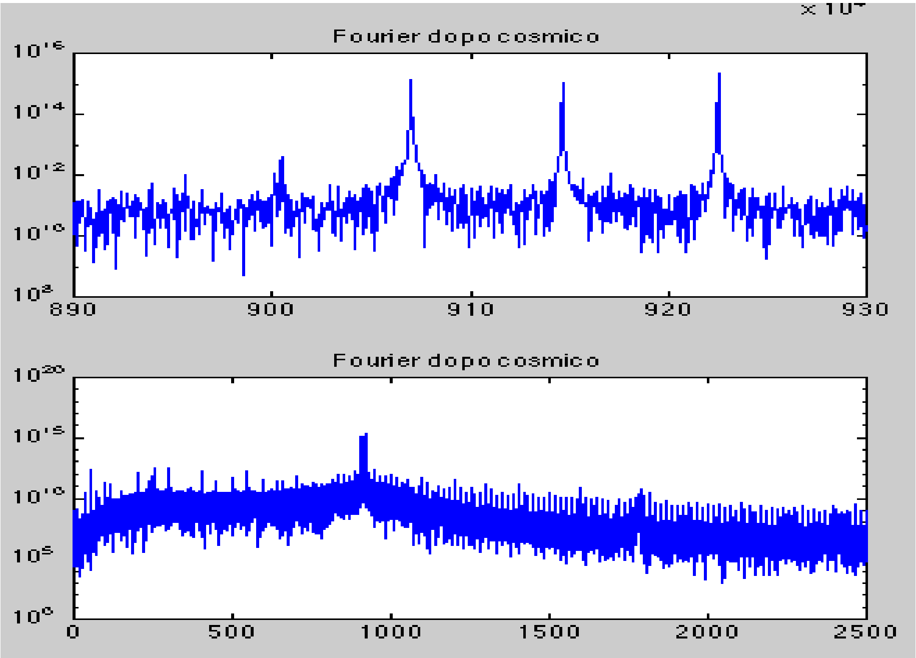
Evento 4298 60222 Giugno 2000

Verifica dei tempi con orologio GPS su evento "grande" T=9 Kelvin


Array Signals...
Real
Mouse Zoom
Full View
Zoom In-Y
Zoom Out-Y
Zoom In-X
Zoom Out-X
Help
Selection
sig1
Color...
× 10⁴
sig1 (200000-by-1 real, Fs=5000)
1
2
Segnale diretto
3.6
3.5
3.4
3.3
3.2
3.1
3
Cosmico
19.9
19.92
19.94
19.96
19.98
20
20.02
20.04
20.06
Time
Panner
Rulers
Vertical
Horizontal
Track
Slope
Peaks
Valleys
Save Rulers...

x1 18.914
y1 33738
x2 26.6666
y2 33632
dx 7.7526
dy -106





Eventi inattesi - coincidenze nei dati 1998

Segnale anche nelle coincidenze!

Soglia tipica =19.5*Tnoise ~100mKelvin

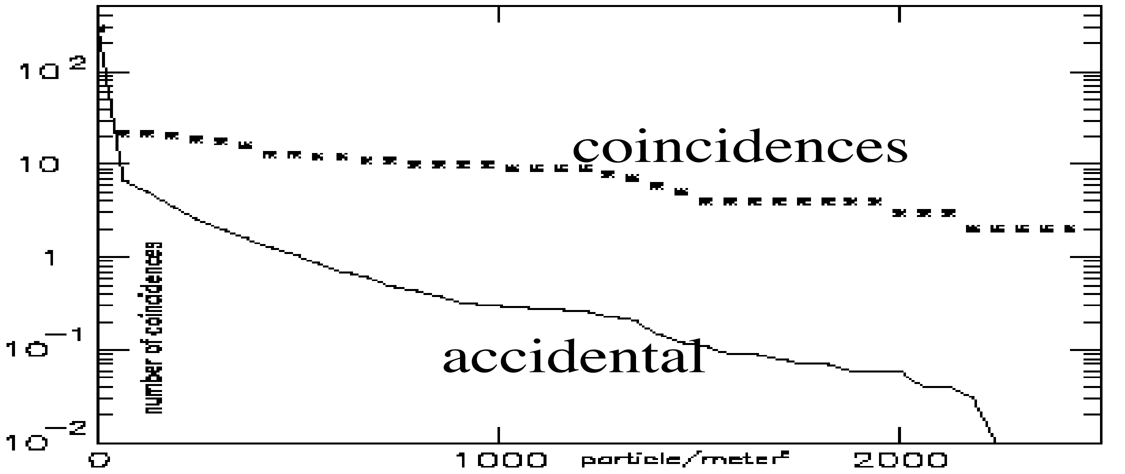
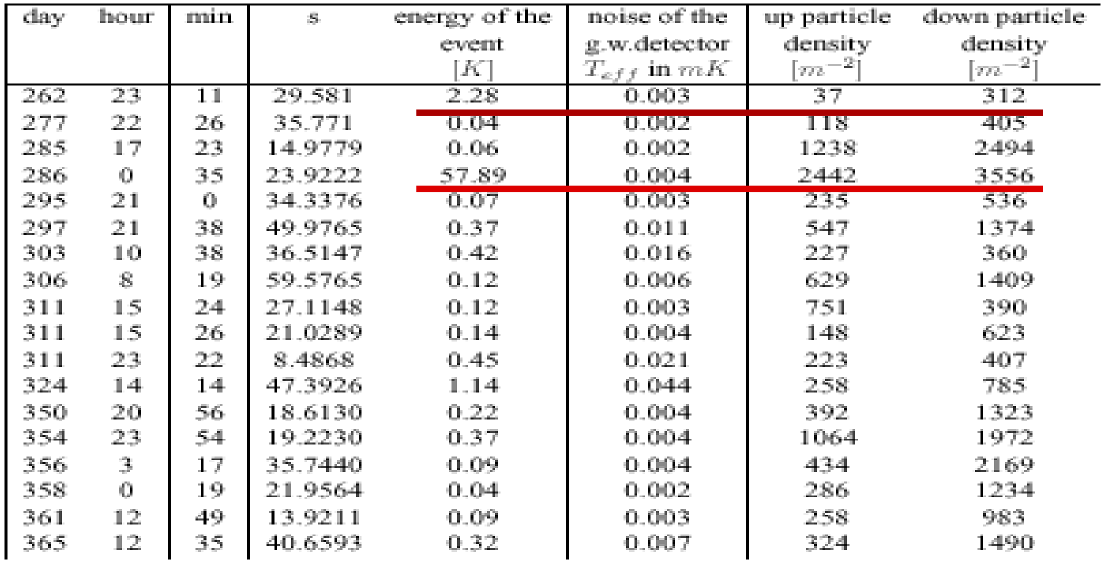


Fig. 1: Coincidences between the g.w. detector NAUTILUS and the c.r. detector. The asterisks show the integral num observed coincidences versus the particle density observed by the c.r. counters located under the NAUTILUS cryostat continuous line shows the estimated number of accidental coincidences.

Table 1: List of eighteen coincidences between NAUTILUS and the c.r. detector



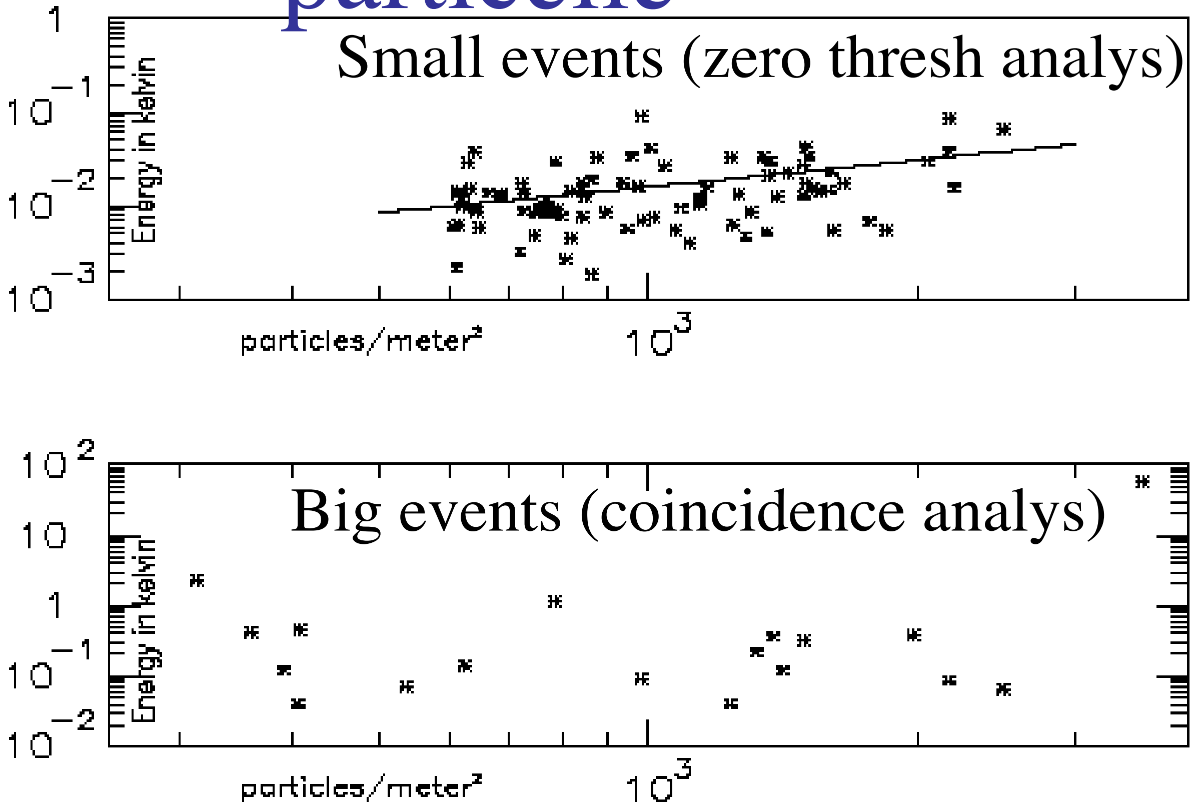
day	hour	min	s	energy of the event $[K]$	noise of the g.w.detector T_{eff} in mK	up particle density $[m^{-2}]$	down particle density $[m^{-2}]$
262	23	11	29.581	2.28	0.003	37	312
277	22	26	35.771	0.04	0.002	118	405
285	17	23	14.9779	0.06	0.002	1238	2494
286	0	35	23.9222	57.89	0.004	2442	3556
295	21	0	34.3376	0.07	0.003	235	536
297	21	38	49.9765	0.37	0.011	547	1374
303	10	38	36.5147	0.42	0.016	227	360
306	8	19	59.5765	0.12	0.006	629	1409
311	15	24	27.1148	0.12	0.003	751	390
311	15	26	21.0289	0.14	0.004	148	623
311	23	22	8.4868	0.45	0.021	223	407
324	14	14	47.3926	1.14	0.044	258	785
350	20	56	18.6130	0.22	0.004	392	1323
354	23	54	19.2230	0.37	0.004	1064	1972
356	3	17	35.7440	0.09	0.004	434	2169
358	0	19	21.9564	0.04	0.002	286	1234
361	12	49	13.9211	0.09	0.003	258	983
365	12	35	40.6593	0.32	0.007	324	1490

Eventi inattesi - correlazione con densità di particelle

Correlazione non evidente ma statisticamente significativa

Nessuna correlazione

Sciami estesi non spiegano questi eventi

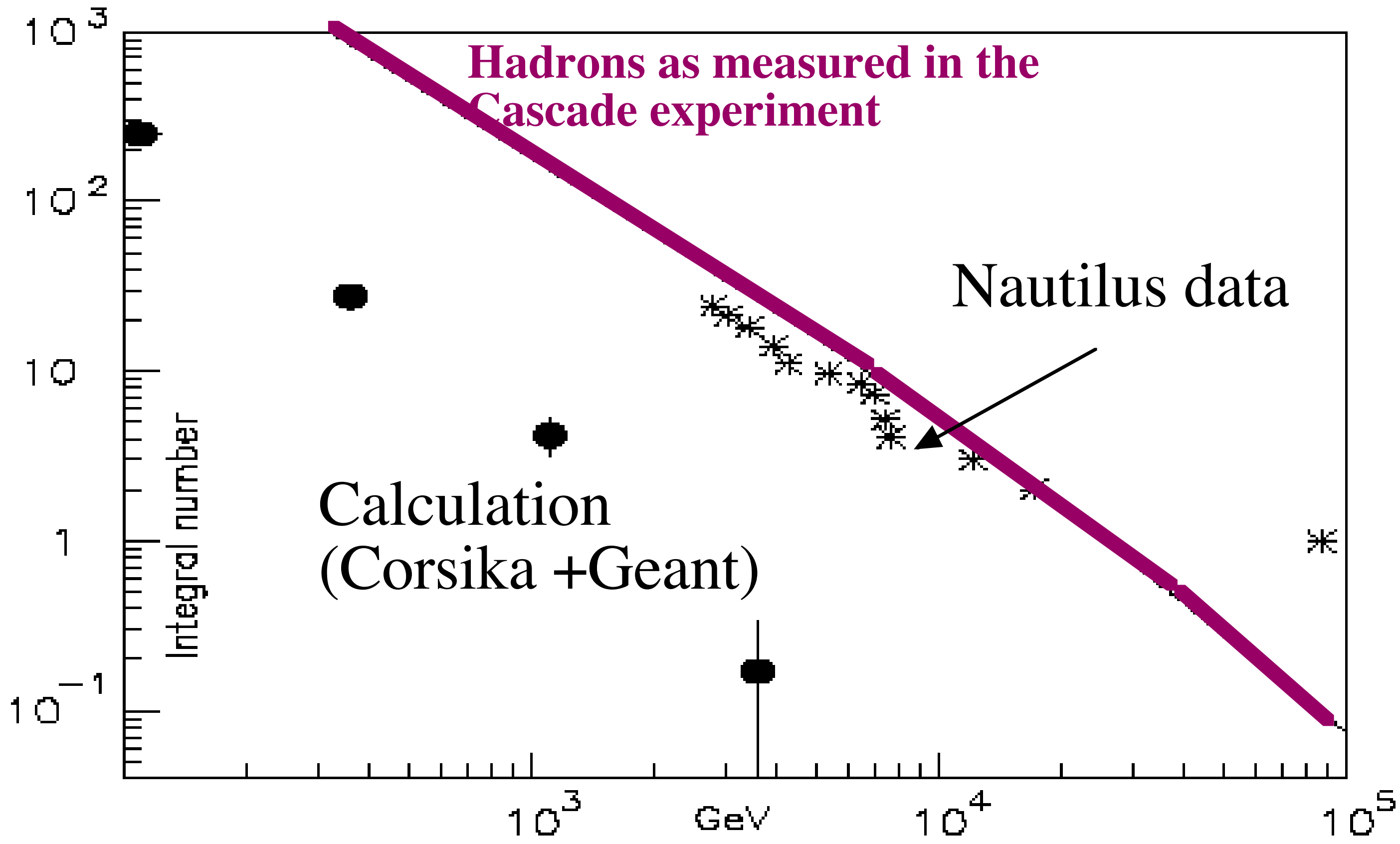


Small events (zero thresh analys)

Big events (coincidence analys)

Fig. 3: Correlation between the NAUTILUS signals and the c.r. particle density. The upper graph shows the correlation of the NAUTILUS energy at zero delay (respect to the c.r. events) versus the corresponding c.r. lower particle density, for the 92 data points considered in the previous analysis. The correlation coefficient is 0.30, with a probability to be accidental of less than 1%. If we eliminate the three largest data points with energy greater than 100 mK, which belong also to the family of events of Table 1, the correlation coefficient increases to 0.42 with 89 data points, with a probability smaller than 10^{-4} for the correlation to be accidental. Instead the lower plot shows no correlation between the energy of the NAUTILUS coincident events analysed in this paper and the corresponding c.r. particle density.

Eventi inattesi - distribuzione integrale confronto con predizioni adroni



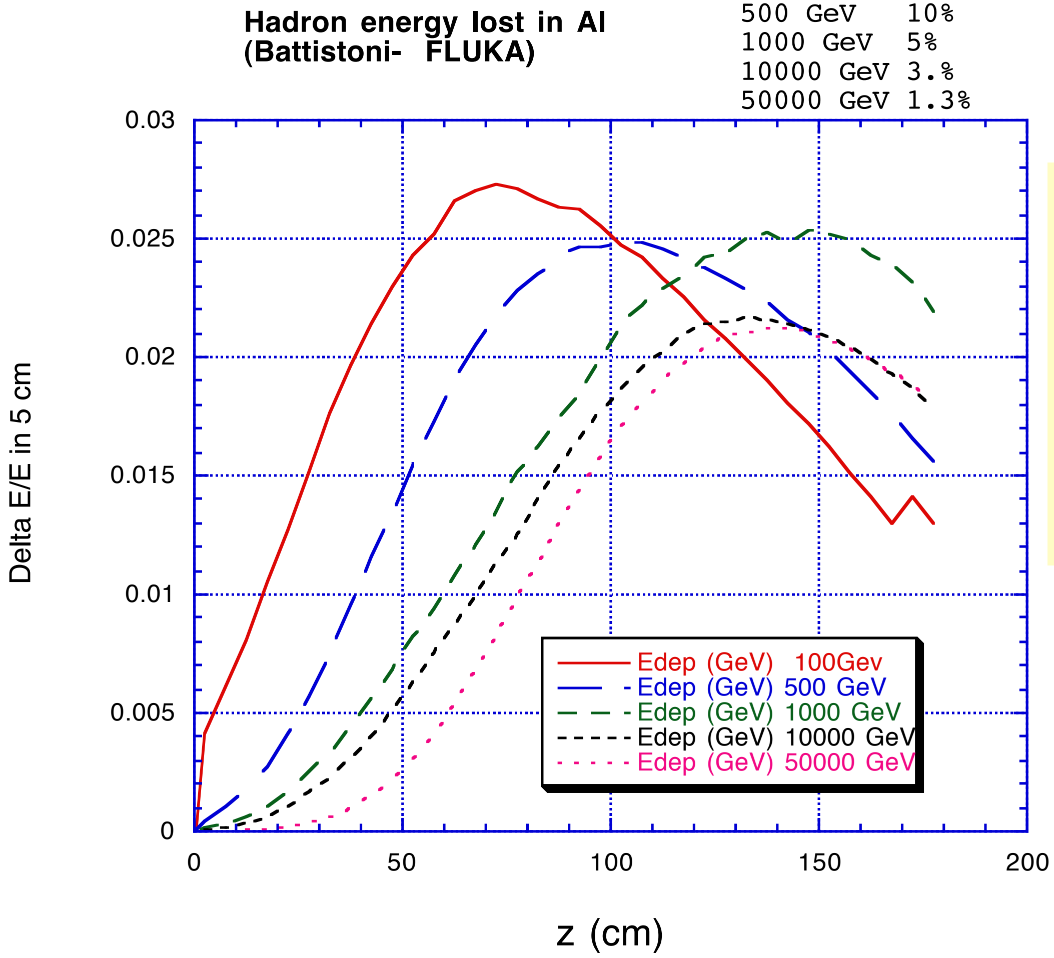
Simulazione : ordine di grandezza in accordo con misure Cascade

tenuto conto che la barra contiene solo qualche % dell’energia adronica

Adroni - frazione di energia contenuta in alluminio

Delta E < 60 cm

100 GeV	20%
500 GeV	10%
1000 GeV	5%
10000 GeV	3.%
50000 GeV	1.3%



Dati diretti esperimento CASCADE + questa frazione in accordo con risultati simulazione completa

Eventi inattesi - possibili spiegazioni

Conclusione dai dati precedenti

energia diversa da calcolata per ~ 2 ordini di grandezza oppure frequenza eventi più alta dell'atteso

Spiegazioni possibili:

Errore nelle simulazioni

Particelle **esotiche** nei raggi cosmici o interazioni anomale

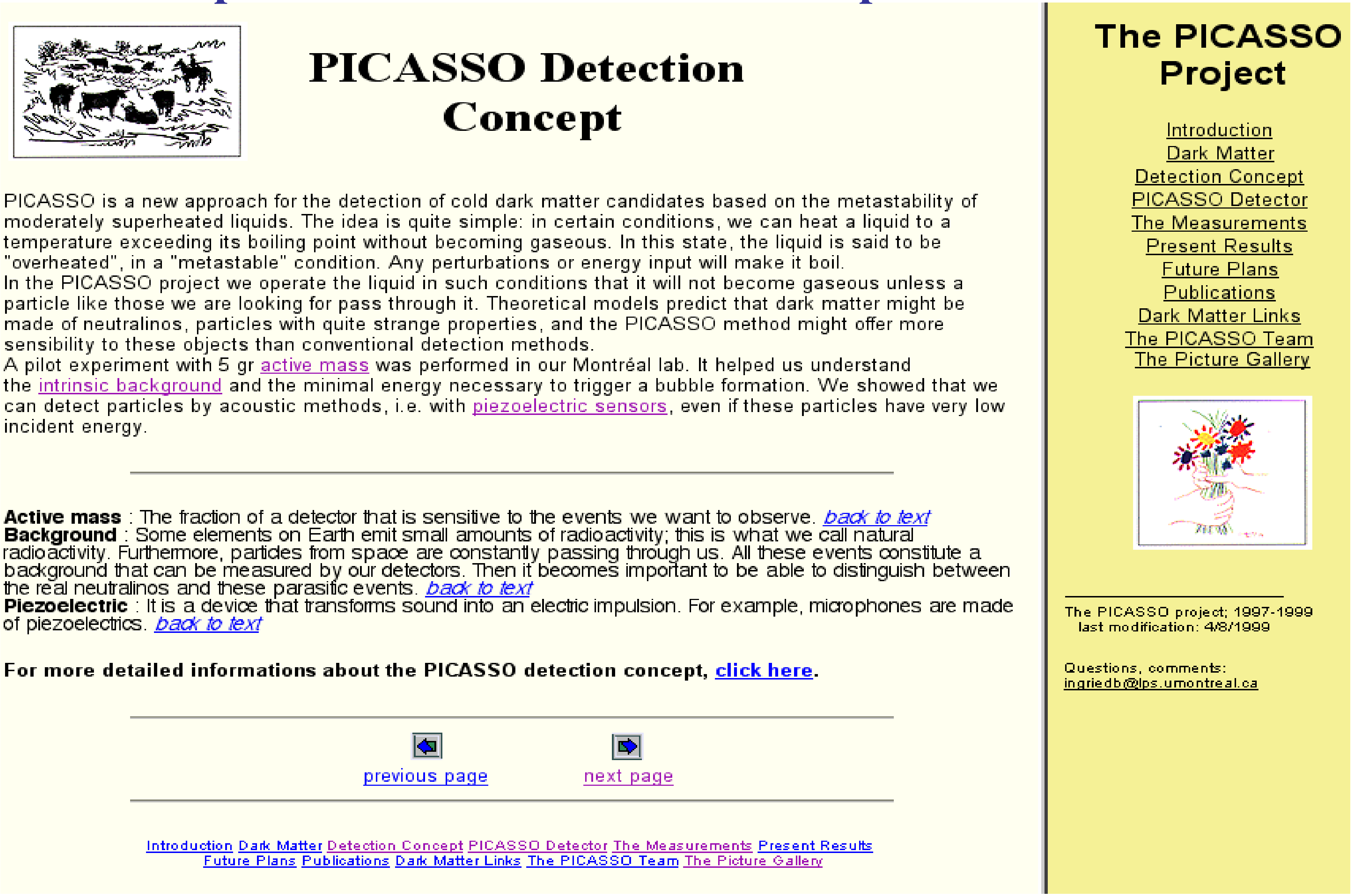
Effetti del **rivelatore:**

a) **Superconduttività** e parametro di Gruneisen

b) Conversione diretta in **energia meccanica** (es interazione adroni con nuclei) ma esperimento Grassi Strini anche su protoni

c) Stati metastabili

Eventi inattesi: fenomelogia simile a quella usata per molti rivelatori esempio la rivelazione acustica nell'esperimento PICASSO



PICASSO Detection Concept

PICASSO is a new approach for the detection of cold dark matter candidates based on the metastability of moderately superheated liquids. The idea is quite simple: in certain conditions, we can heat a liquid to a temperature exceeding its boiling point without becoming gaseous. In this state, the liquid is said to be "overheated", in a "metastable" condition. Any perturbations or energy input will make it boil.
In the PICASSO project we operate the liquid in such conditions that it will not become gaseous unless a particle like those we are looking for pass through it. Theoretical models predict that dark matter might be made of neutralinos, particles with quite strange properties, and the PICASSO method might offer more sensibility to these objects than conventional detection methods.
A pilot experiment with 5 gr active mass was performed in our Montréal lab. It helped us understand the intrinsic background and the minimal energy necessary to trigger a bubble formation. We showed that we can detect particles by acoustic methods, i.e. with piezoelectric sensors, even if these particles have very low incident energy.

Active mass : The fraction of a detector that is sensitive to the events we want to observe. *back to text*
Background : Some elements on Earth emit small amounts of radioactivity; this is what we call natural radioactivity. Furthermore, particles from space are constantly passing through us. All these events constitute a background that can be measured by our detectors. Then it becomes important to be able to distinguish between the real neutralinos and these parasitic events. *back to text*
Piezoelectric : It is a device that transforms sound into an electric impulsion. For example, microphones are made of piezoelectrics. *back to text*

For more detailed informations about the PICASSO detection concept, click here.

---

previous page next page

Introduction Dark Matter Detection Concept PICASSO Detector The Measurements Present Results
Future Plans Publications Dark Matter Links The PICASSO Team The Picture Gallery

The PICASSO Project

Introduction
Dark Matter
Detection Concept
PICASSO Detector
The Measurements
Present Results
Future Plans
Publications
Dark Matter Links
The PICASSO Team
The Picture Gallery

The PICASSO project; 1997-1999
last modification: 4/8/1999

Questions, comments:
ingriedb@lps.umontreal.ca

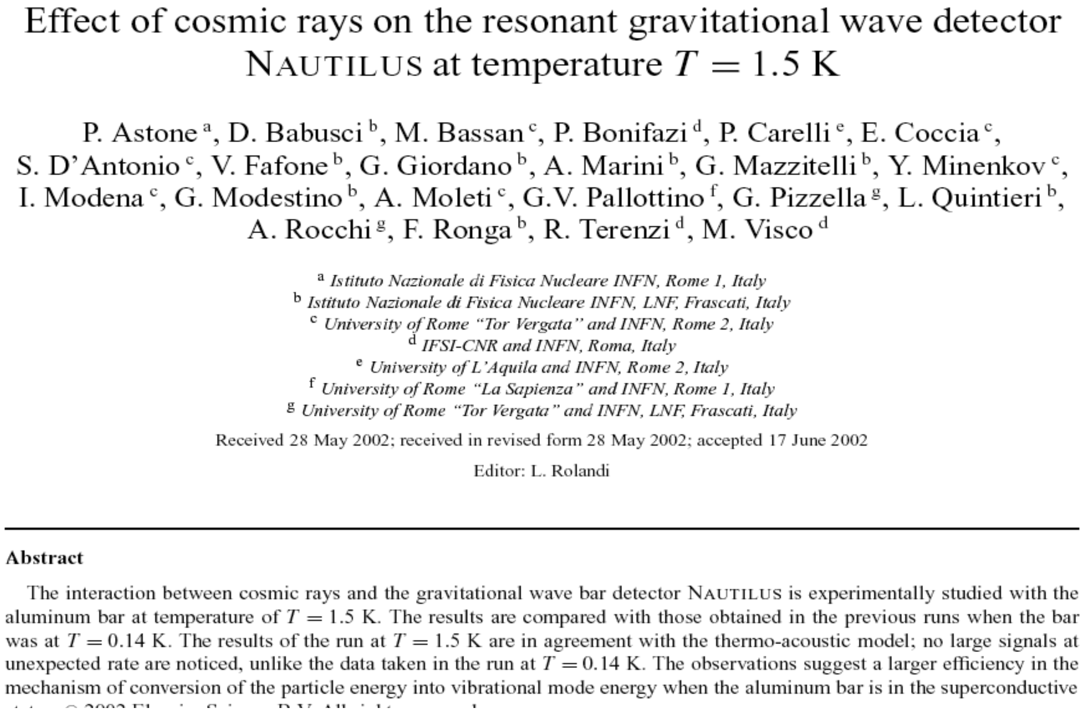
Altri dati dopo il 2000

- ad Agosto 2000 NAUTILUS a causa di un problema del refrigeratore a diluizione funziona a **T> 1 Kelvin, da allora scomparsi** eventi grandi.

Nel 2002 cambiamento della barra e del trasduttore, nuovo run dal 2003

Comportamento di Nautilus nel 2000- 2001 a T=1.5 kelvin

Solo 1 evento con analisi in coincidenza (T=0.5 Kelvin ~ 8 TeV)



Effect of cosmic rays on the resonant gravitational wave detector NAUTILUS at temperature $T = 1.5$ K

P. Astone [a], D. Babusci [b], M. Bassan [c], P. Bonifazi [d], P. Carelli [e], E. Coccia [c],
S. D'Antonio [c], V. Fafone [b], G. Giordano [b], A. Marini [b], G. Mazzitelli [b], Y. Minenkov [c],
I. Modena [c], G. Modestino [b], A. Moleti [c], G.V. Pallottino [f], G. Pizzella [g], L. Quintieri [b],
A. Rocchi [g], F. Ronga [b], R. Terenzi [d], M. Visco [d]

[a] *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare INFN, Rome 1, Italy*
[b] *Istituto Nazionale di Fisica Nucleare INFN, LNF, Frascati, Italy*
[c] *University of Rome "Tor Vergata" and INFN, Rome 2, Italy*
[d] *IFSI-CNR and INFN, Roma, Italy*
[e] *University of L'Aquila and INFN, Rome 2, Italy*
[f] *University of Rome "La Sapienza" and INFN, Rome 1, Italy*
[g] *University of Rome "Tor Vergata" and INFN, LNF, Frascati, Italy*

Received 28 May 2002; received in revised form 28 May 2002; accepted 17 June 2002

Editor: L. Rolandi

Abstract

The interaction between cosmic rays and the gravitational wave bar detector NAUTILUS is experimentally studied with the aluminum bar at temperature of $T = 1.5$ K. The results are compared with those obtained in the previous runs when the bar was at $T = 0.14$ K. The results of the run at $T = 1.5$ K are in agreement with the thermo-acoustic model; no large signals at unexpected rate are noticed, unlike the data taken in the run at $T = 0.14$ K. The observations suggest a larger efficiency in the mechanism of conversion of the particle energy into vibrational mode energy when the aluminum bar is in the superconductive

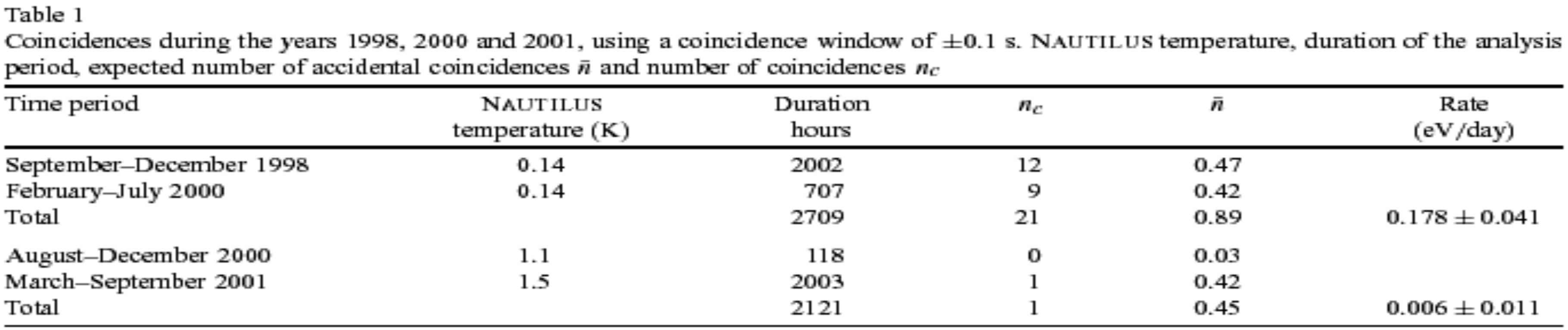
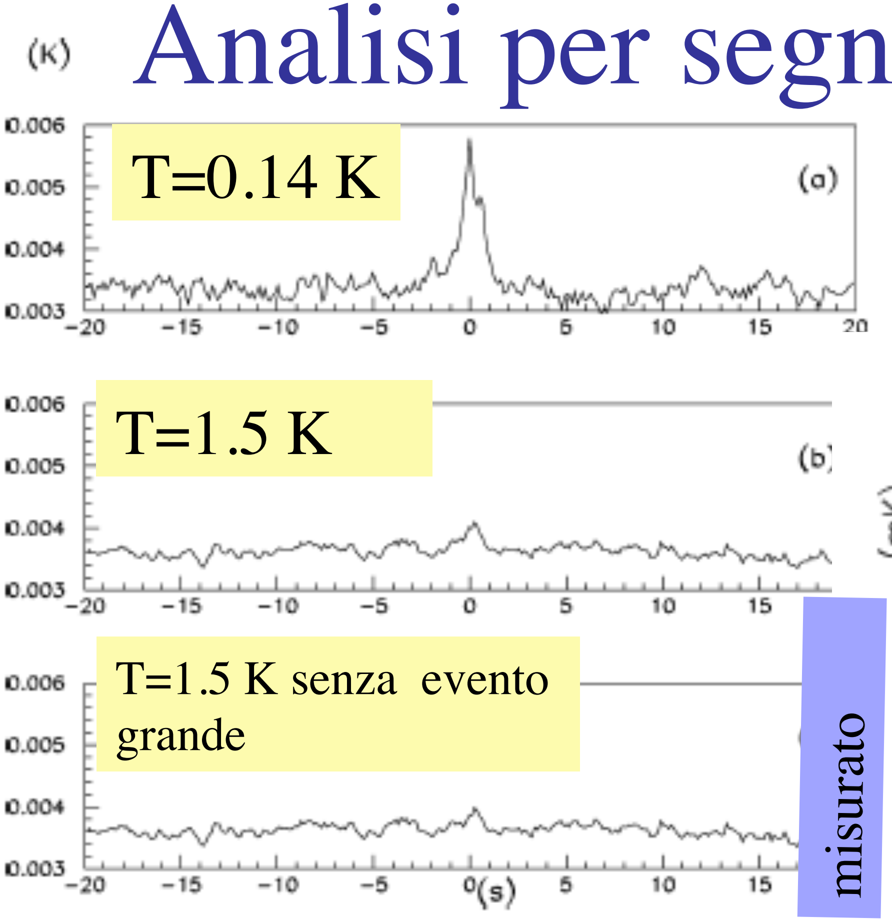


Table 1
Coincidences during the years 1998, 2000 and 2001, using a coincidence window of ±0.1 s. NAUTILUS temperature, duration of the analysis period, expected number of accidental coincidences $\bar{n}$ and number of coincidences n_c

Time period	NAUTILUS temperature (K)	Duration hours	n_c	$\bar{n}$	Rate (eV/day)
September–December 1998	0.14	2002	12	0.47	
February–July 2000	0.14	707	9	0.42	
Total		2709	21	0.89	0.178 ± 0.041
August–December 2000	1.1	118	0	0.03	
March–September 2001	1.5	2003	1	0.42	
Total		2121	1	0.45	0.006 ± 0.011

Analisi per segnali a zero soglia



T=0.14 K

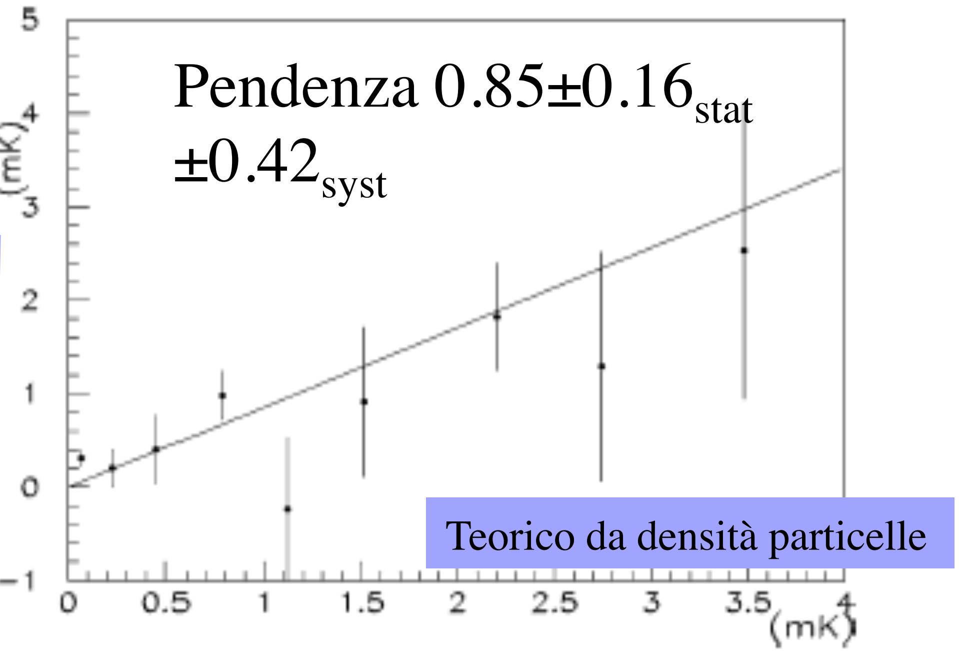
T=1.5 K

T=1.5 K senza evento grande

misurato

Fig. 2. The energy response of NAUTILUS to the CRs passage at z time. In (a), we show the average energy (K) vs. time for 308 d stretches detected during 2000, with NAUTILUS bar temperature 0.14 K. In (b), the result of the same analysis is shown for 968 d stretches detected during 2001, with bar temperature at 1.5 K. T CR showers particle density is larger than 300 par m^{-2} for the b periods. Excluding from the last data set the event of Fig. 1, t average energy for 967 data stretches is shown in (c).

Dividendo gli eventi in intervalli di densità di particelle:



Pendenza 0.85±0.16$_{stat}$ ±0.42$_{syst}$

Teorico da densità particelle

Fig. 3. Experimental signal versus the expected signal due to the electromagnetic component of the CR shower (see text and Table 2). The straight line is a least square fit and the vertical bars indicate statistical errors (± one standard deviation).

NAUTILUS conclusione nel 2002

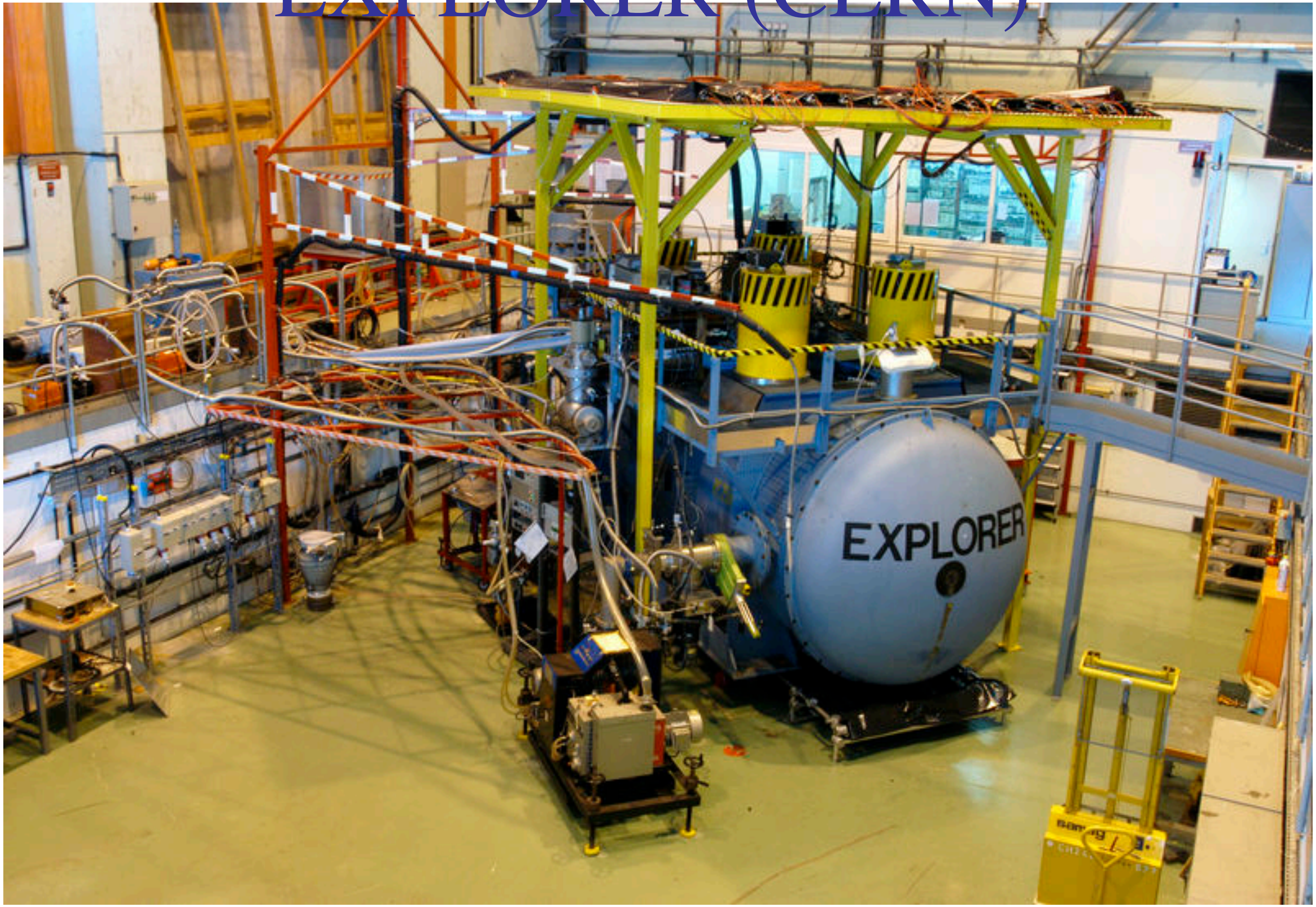
Dati T =1.5 Kelvin in accordo con modello termoacustico con parametro di Gruneisen $\gamma=1.6$

Ma…..

- nel 2002 inizia a **funzionare** il rivelatore di raggi cosmici di EXPLORER (T> 1 Kelvin), nel 2003 compaiono eventi grandi

Explorer ha un fermata ogni anno a Natale con un ciclo di riscaldamento - raffreddamento

2002 Rivelatori di sciami su EXPLORER (CERN)



EXPLORER da 2001

prestazioni simili a Nautilus (nuovo trasduttore)

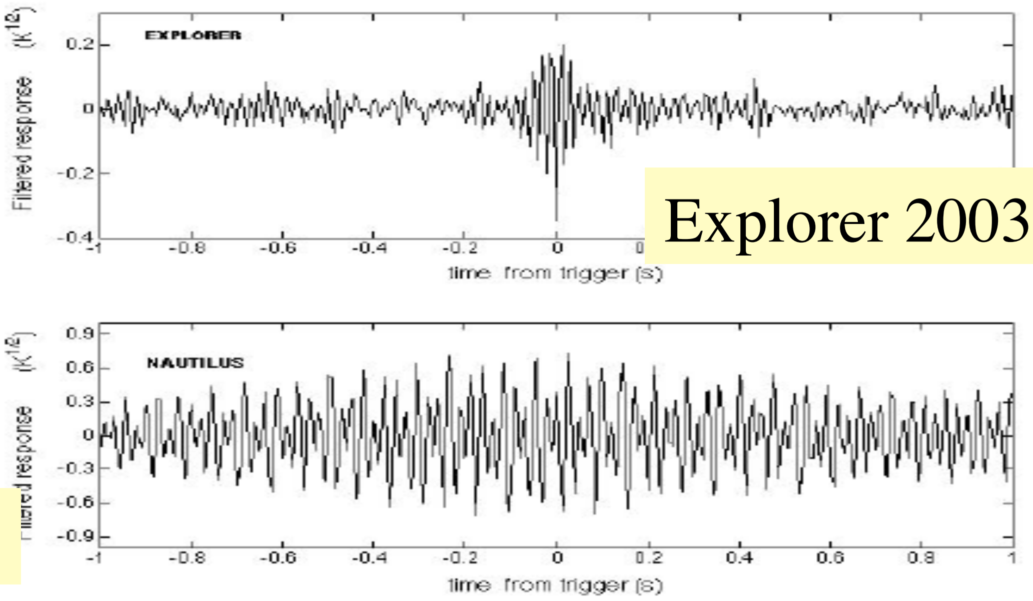
Rivelatore cosmici con scintillatori plastici recuperati da altri esperimenti. Fototubi 56AVP ! !!

Segnale dinodi, saturazione attorno 2000-3000 particelle m^2

Banda passante ~ 50 Hz

Miglioramento risoluzione temporale

Confronto due sciami



Explorer 2003

Nautilus 2000

FIG. 4. An event triggered by a cosmic ray shower. For comparison, we show a similar event detected by the Nautilus antenna [18] where the slow beats between the two normal modes can be clearly seen: the improvement in arrival time resolution is evident

Eventi grandi non previsti anche in Explorer 2003!

Periodi:

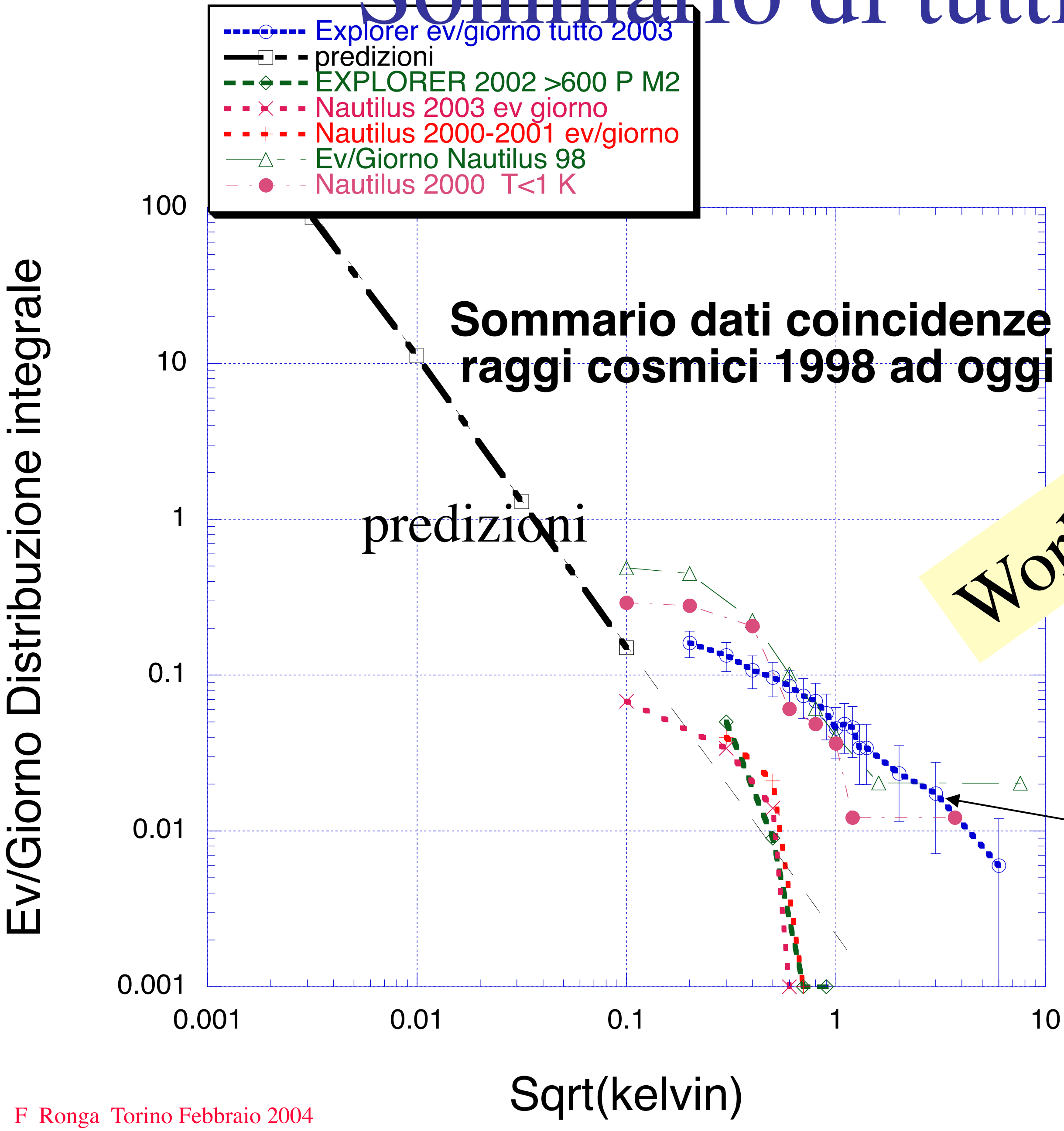
1) Nautilus 1998 T< 1 Kelvin
2) Nautilus fino a Luglio 2000 T<1 Kelvin
3) Nautilus Agosto 2000 Novembre 2001 T>1 Kelvin
4) Nautilus 2003 T > 1 Kelvin
5) Explorer 2002 T >1 Kelvin
6) Explorer 2003 T>1 Kelvin

Ricerca coincidenze finestra ≈ 1-0.05 sec

Taglio densita' particelle 100-300 part /m2

Taglio SNR energia 19.5, noise < 10 mKelvin

Sommario di tutti i dati

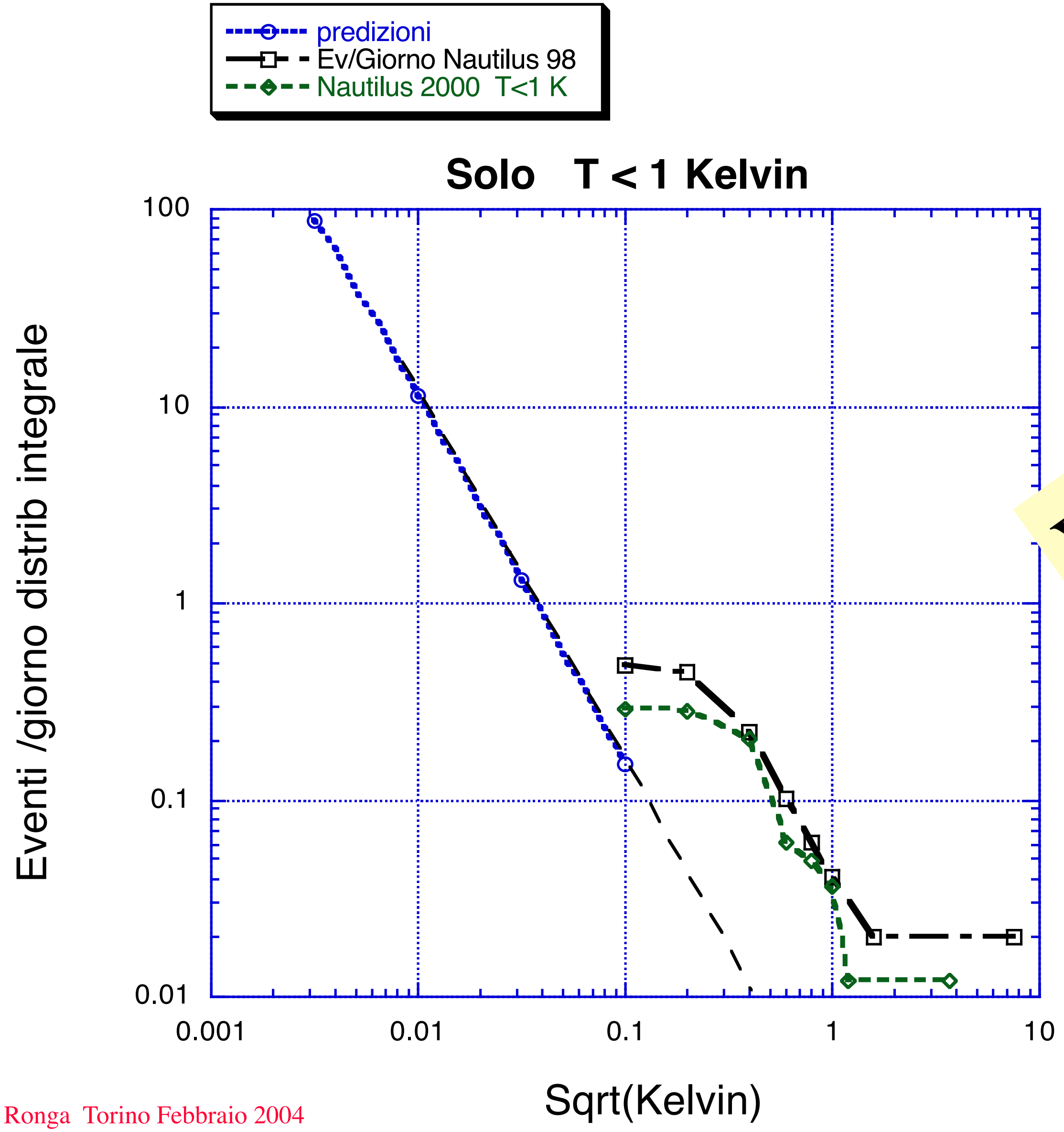


Work in progress!!

Explorer 2003 aggiornato
a metà Dicembre

Nautilus 2003 a Settembre

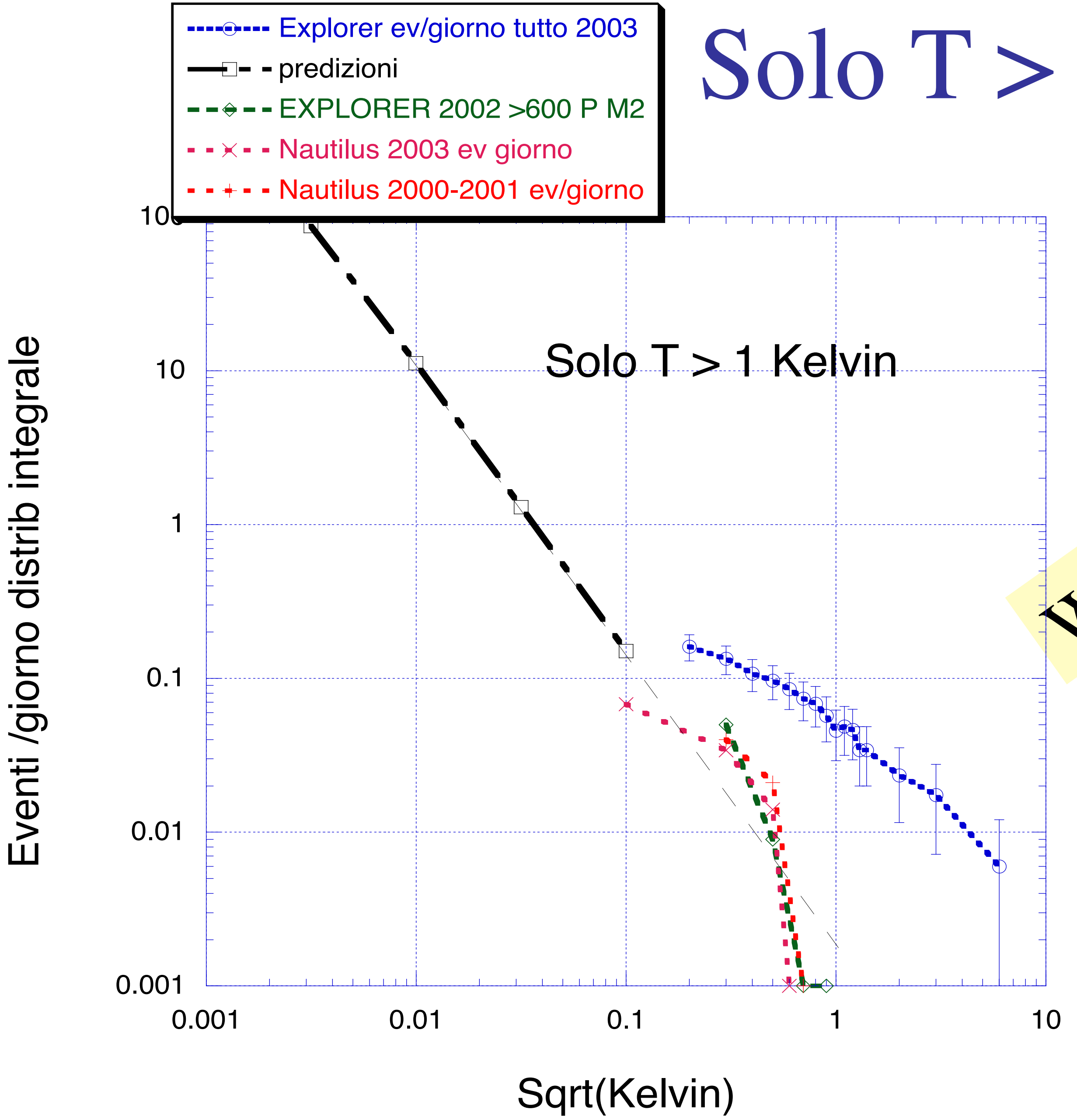
Solo T < 1 Kelvin



Work in progress!!

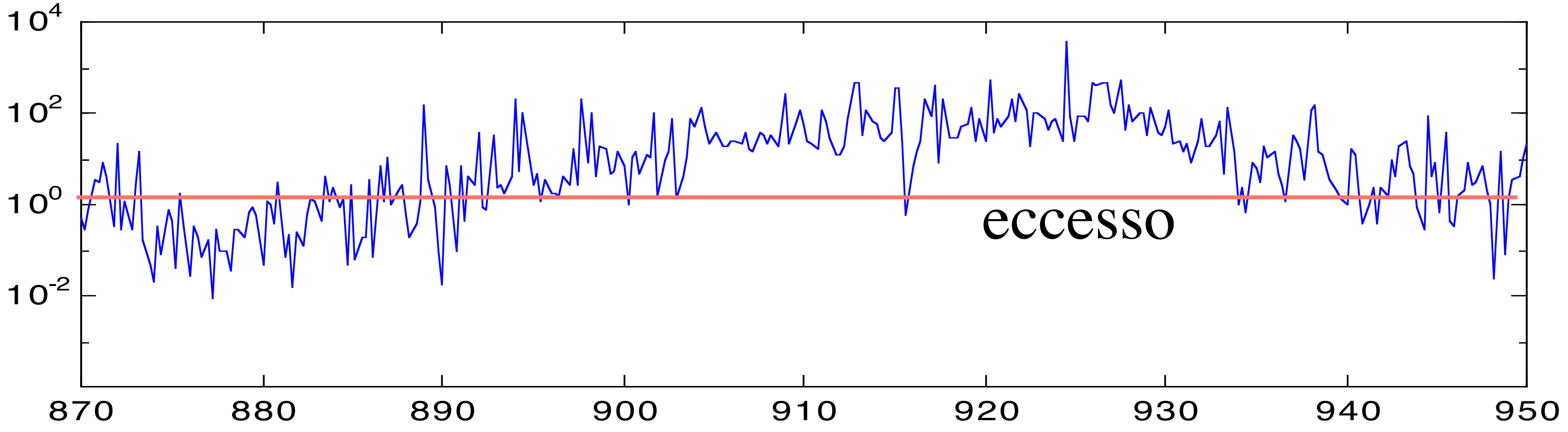
F Ronga Torino Febbraio 2004

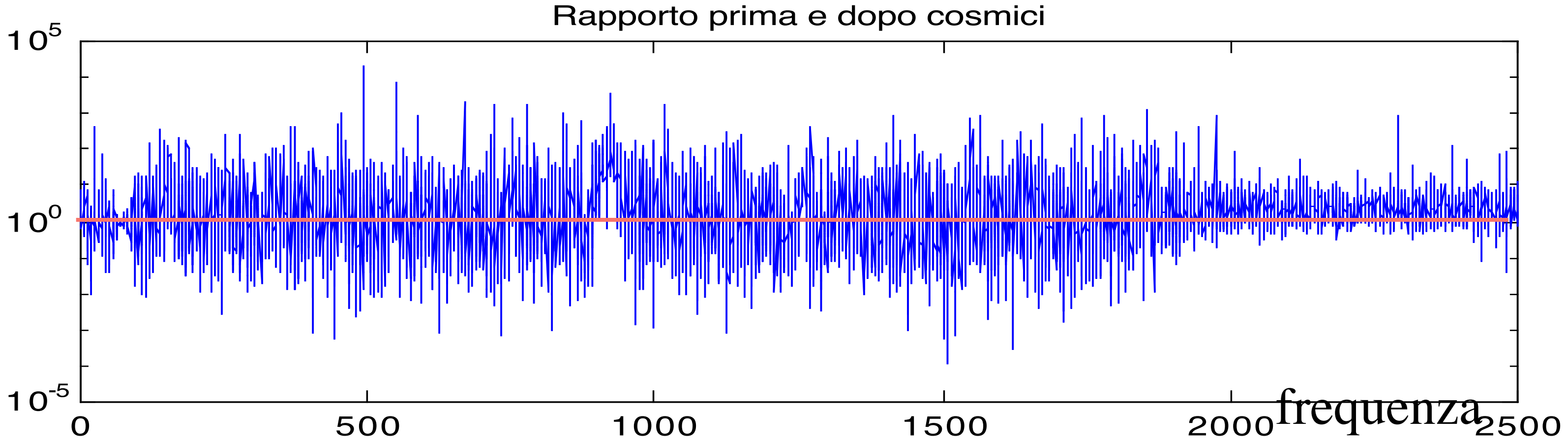
Solo T > 1 Kelvin



Work in progress!!

Evento 49 Kelvin 9 Set 2003
rapporti spettro Fourier:

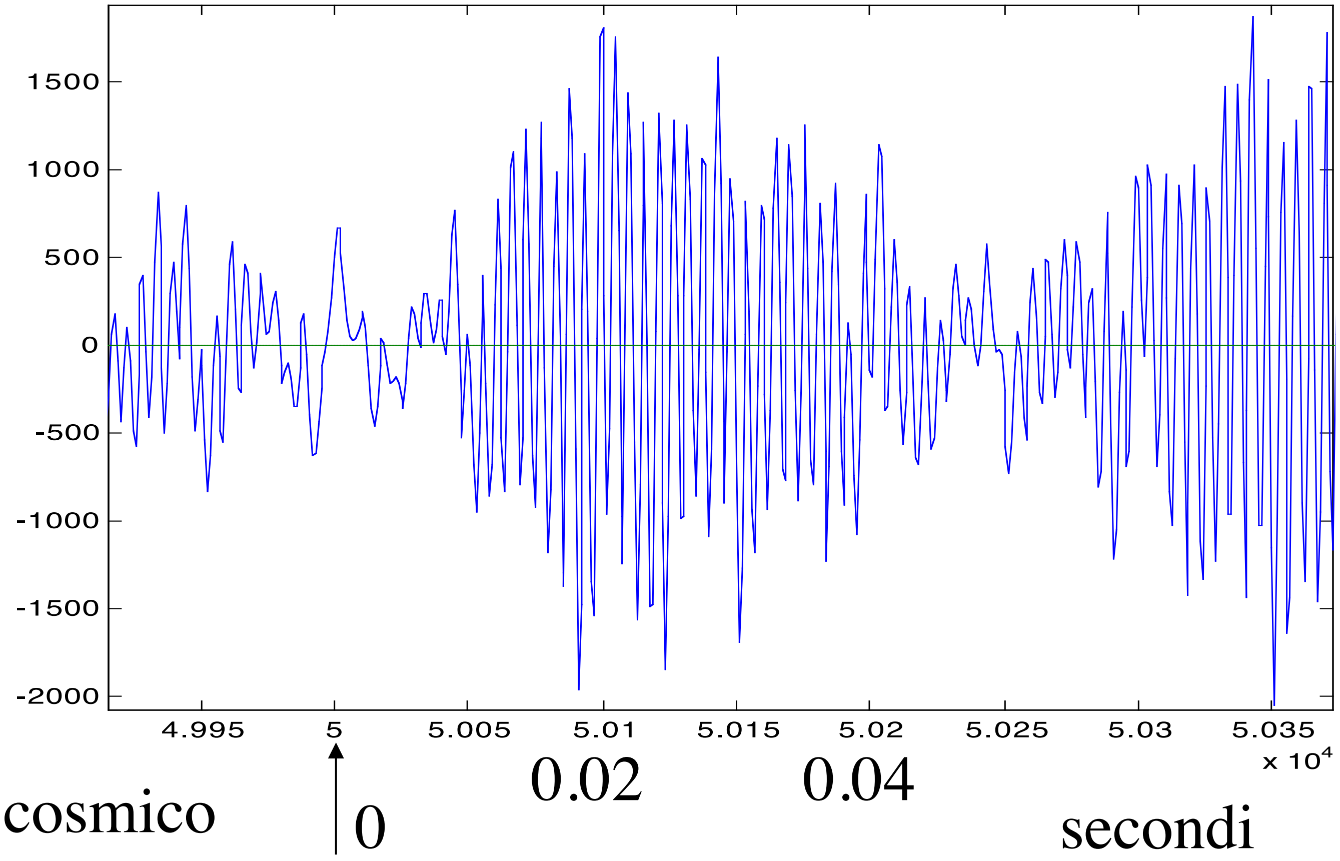




eccitazione solo in banda 890-940 Hz come atteso da segnale genuino

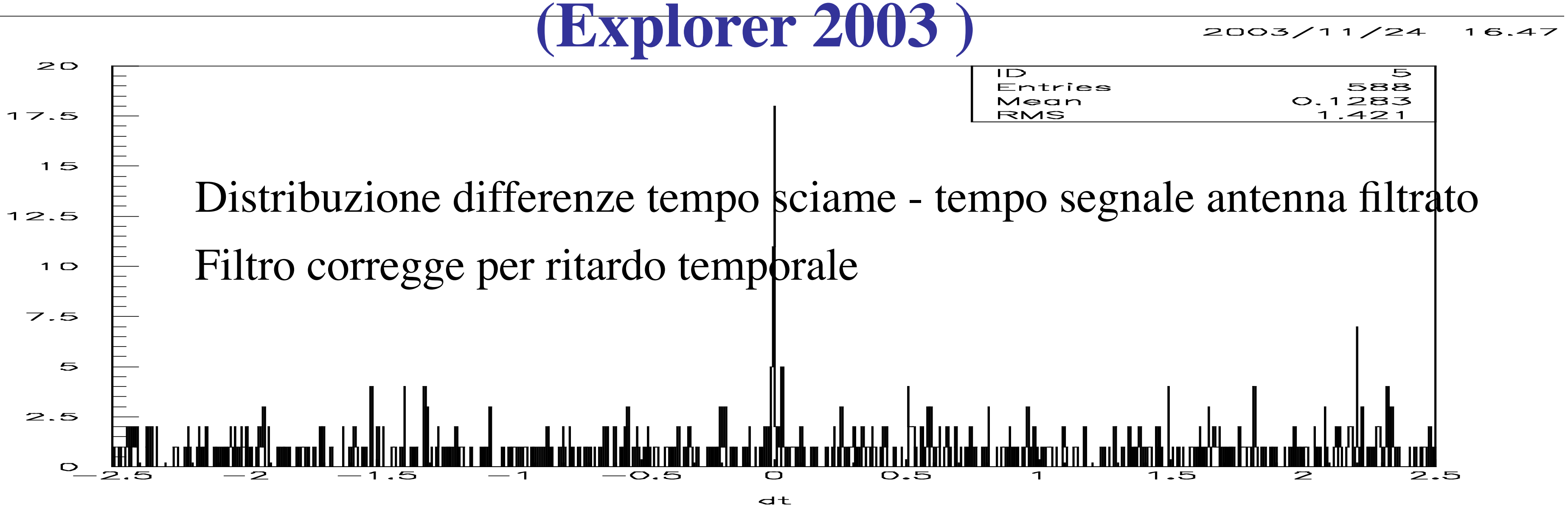
Evento 49 Kelvin 9 Set 2003

Segnale ricostruito nella banda 126 -1026 Hz



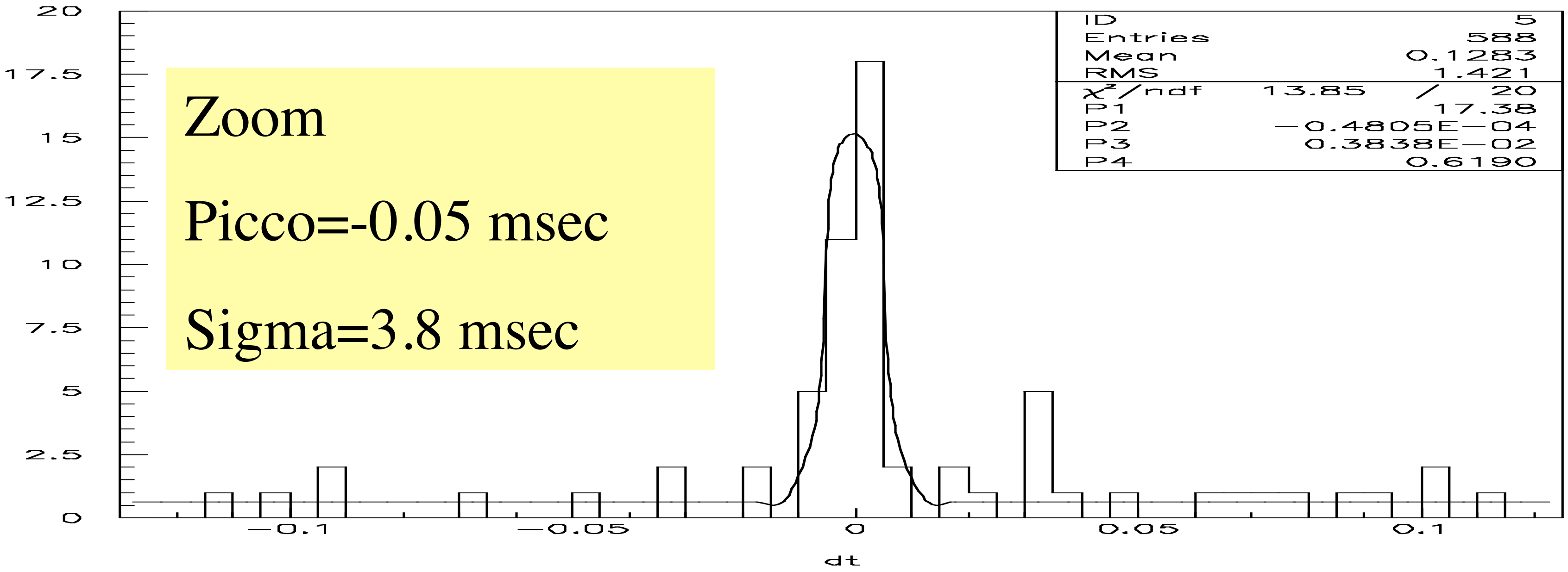
Il tempo del segnale e' corretto: battimento=(1/(f1-f2)=43msec

Ulteriore conferma della correttezza dei tempi (Explorer 2003)



Distribuzione differenze tempo sciame - tempo segnale antenna filtrato

Filtro corregge per ritardo temporale

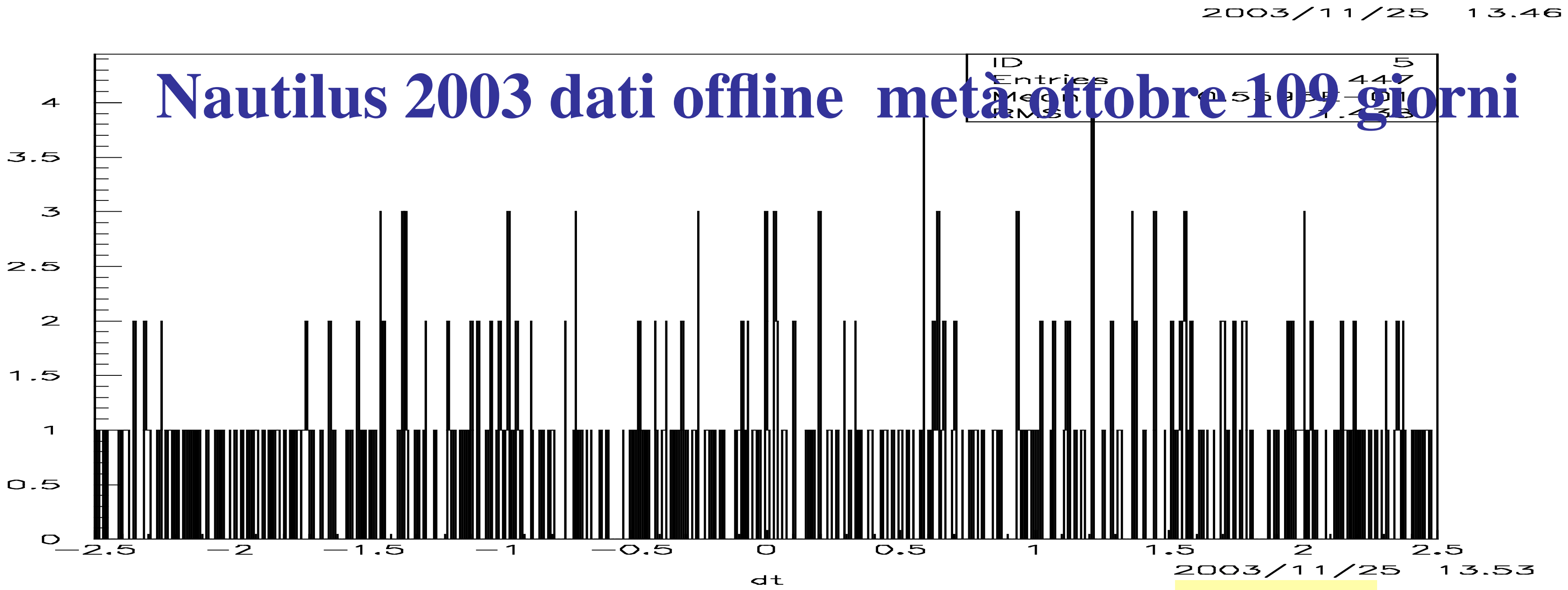


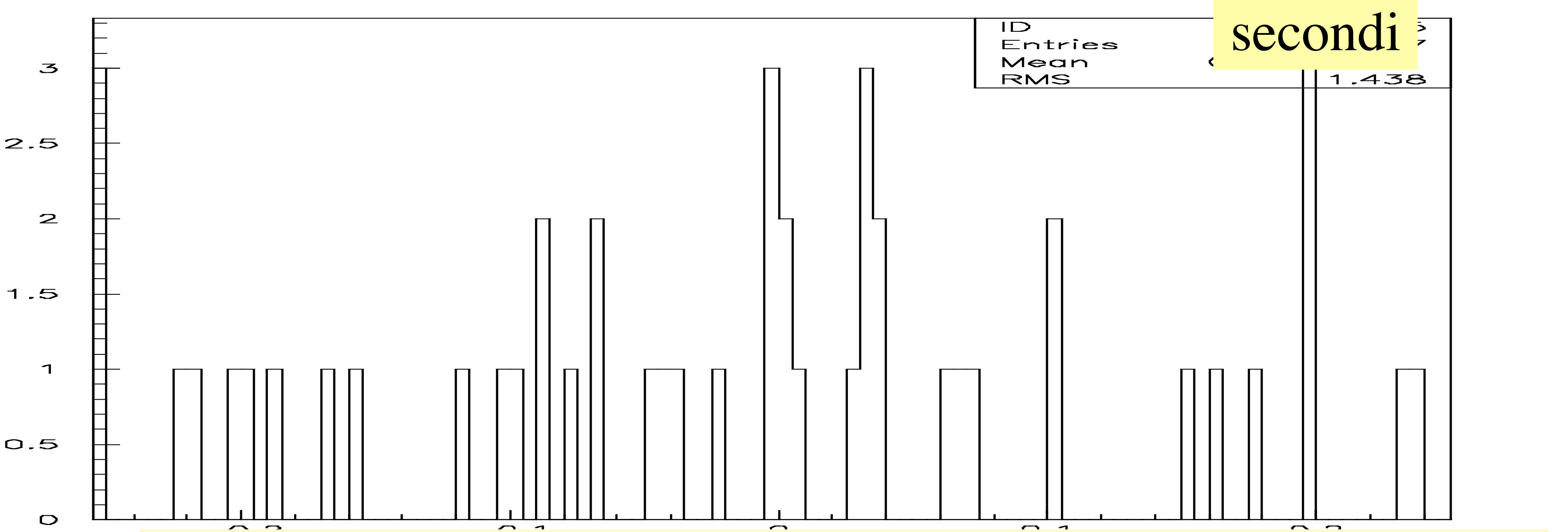
Zoom

Picco=-0.05 msec

Sigma=3.8 msec

Nautilus 2003 dati offline metà ottobre 109 giorni





secondi

In teoria stesse condizioni di Explorer ma assenza di segnali anomali

Sommario

- antenne a barre ancora **competitive con interferometri**, costi minori, tempo effettivo di run molto maggiore di quello degli interferometri, lo strumento inventato da Weber ancora attuale
- importante miglioramento negli ultimi anni : **banda passante** prima EXPLORER ~50 Hz ora AURIGA ~ 100 Hz.., sensibilità
- R/D su **nuovi rivelatori** (sfere, dual)
- possibile segnale in **coincidenza**(2001) tra EXPLORER e NAUTILUS, interessante, ma necessita di **conferma**
- sorgenti "standard" previste **lontane** da sensibilità attuali ma in astrofisica sorprese sempre possibili..astronomia X, gamma burst..,

Sommario e conclusioni(??) eventi strani nei raggi cosmici

Conclusioni sicure:

- **osservato** l'effetto dei raggi cosmici sulle antenne a barre
- effetto osservato è **sulla barra** (non SQUID, Trasduttore ecc)
- segnale **>= uguale** di quello previsto
- **limitazione** della sensibilità delle future antenne a barre ==>> Gran Sasso o altro laboratorio sotterraneo
- utilizzo dei segnali dei raggi cosmici per calibrazione "sul campo" : **risoluzione temporale**.., verifica di algoritmi per la ricerca di segnali (esempio: gamma burst)

Ma…..

Conclusioni (?) e sommario eventi strani

- eventi con energia più grande dell'atteso (o frequenza maggiore)

Possibili spiegazioni: effetto raggi cosmici

a) predizioni errate. Grande incertezza negli eventi attesi, ma non di un ordine di grandezza. Si sta facendo nuovo calcolo (Cafagna, Battistoni, Montaruli).

b) particelle **esotiche** nei raggi cosmici.. Rivelatori acustici molto differenti da rivelatori a ionizzazione. Nessuna soglia netta in β. Rivelatori a gas tipicamente 10^{-3}. Candidati: monopoli, nucleariti...

Due candidati nucleariti *trovati come coincidenza tra sismografi.*

TWO SEISMIC **EVENTS WITH THE PROPERTIES FOR THE PASSAGE OF STRANGE QUARK MATTER THROUGH THE EARTH.**By David P. Anderson, Eugene T. Herrin (Southern Methodist U.), Vigdor L. Teplitz (Southern Methodist U.), Ileana M. Tibuleac (Weston Geophysical),. May 2002. 18pp.

e-Print Archive: **astro-ph/0205089**

Energie in gioco attorno al **"knee"** dei raggi cosmici, dove si sa succede qualcosa di strano

Conclusioni (?) e sommario eventi strani

effetto raggi cosmici **- contro**

a) eventi strani sembrano concentrati in alcuni run
b) particelle esotiche arriverebbero insieme ad uno sciame normale. Possibile ma improbabile

Effetto superconduttività

In NAUTILUS eventi strani sembrano scomparsi a T> 1 Kelvin

Effetto superconduttività- **contro**

Dati EXPLORER 2003

Problemi di calibrazione antenna a “larga banda”???

Conclusioni (?) e sommario eventi strani

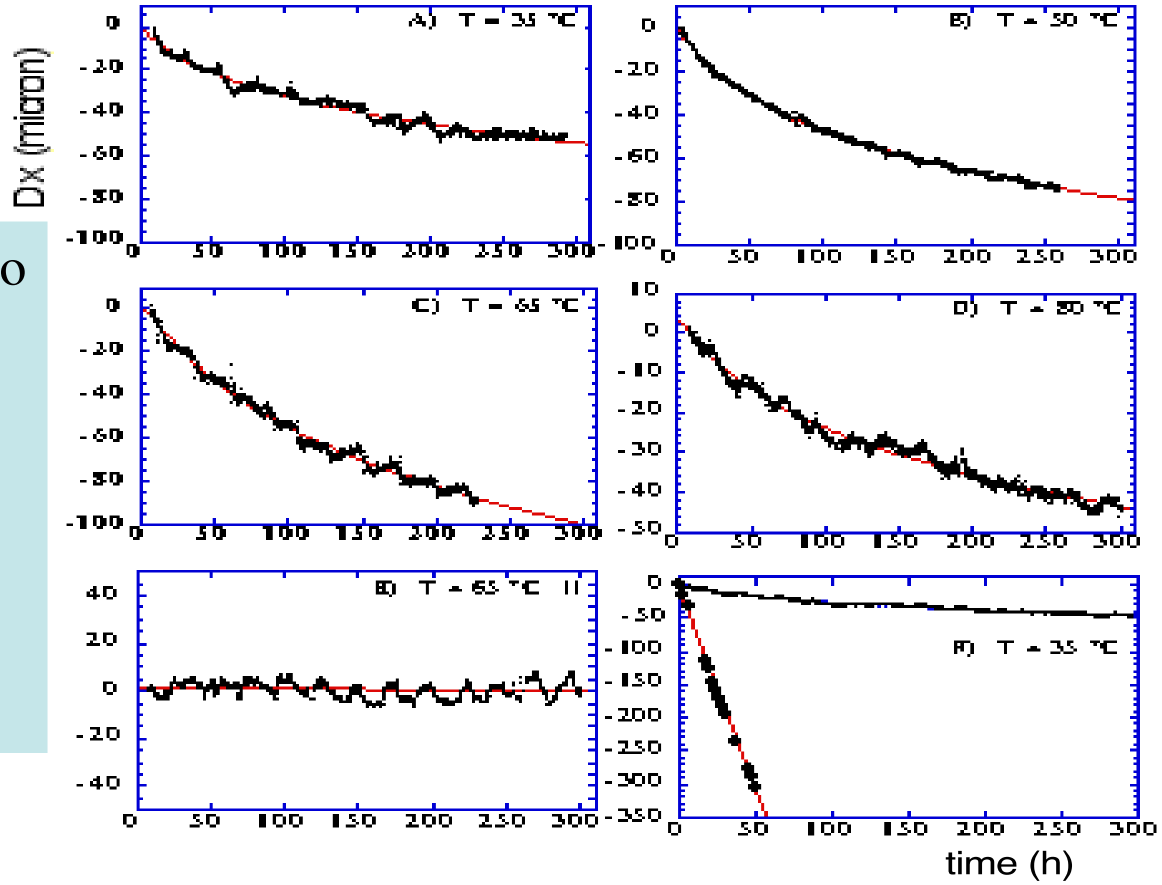
Rilascio non elastico di energia -- spiegazione attualmente favorita

Possibilità suggerita fin dal 1974 da *Fitzgerald,E.R., Nature, 252, 638 (1974)*

Sensibilità antenne in alcune condizioni maggiori del previsto

Tipo di rumore studiato ad esempio per Virgo dipende da storia materiale ecc

energie in gioco ≈10^{-9}joules ≈10GeV direttamente in energia meccanica



Futuro

Eventi Strani: fenomeno non capito servono altri **dati** in condizioni diverse e possibilmente controllate

EXPLORER e NAUTILUS in funzione con sempre migliore **sensibilità**

AURIGA entrato nuovamente in funzione con sensibilità **record**, si pensa di mettere rivelatore di raggi cosmici

Esperimento RAP in condizioni controllate su **fascio** di particelle

Studio di questi eventi interessante per comprensione **risposta** antenne gravitazionali e studio di tecniche di analisi